

Balço hídrico climatológico normal de quatro municípios cearenses localizados em diferentes mesorregiões

Normal climatological water balance of four municipalities in Ceará State located in different mesoregions

Balance hídrico climatológico normal de cuatro municipios del estado de Ceará ubicados en diferentes mesorregiones

Recebido: 20/12/2022 | Revisado: 30/12/2022 | Aceitado: 31/12/2022 | Publicado: 03/01/2023

Luis Nery Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9693-6190>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: luis.nery@ifce.edu.br

Samuel Luiz Leite dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8444-1801>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: saumel.luiz.leite01@aluno.ifce.edu.br

Aparecida Rodrigues Nery

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6162-199X>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: Aparecida.nery@ifce.edu.br

Maria Viviane Palmeira da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6840-6902>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: maria.viviane.palmeira@aluno.ifce.edu.br

Camila Tainá dos Santos Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7627-8859>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: camila.taina.santos07@aluno.ifce.edu.br

Francisco Gauberto Barros dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4798-074X>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: gauberto@ifce.edu.br

Manuel Antonio Navarro Vásquez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6207-1603>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
E-mail: avasquez@ifce.edu.br

Resumo

O trabalho teve como objetivo estimar e apresentar o balanço hídrico climatológico normal (BHCN) de municípios localizados em diferentes microrregiões de diferentes mesorregiões cearenses. Selecionaram-se quatro municípios: Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá, localizados no Sul cearense, Norte cearense, Jaguaribe e Sertões cearenses, respectivamente. Para o cálculo do BHCN utilizaram-se as normais climatológicas de temperatura e precipitação do período de 1991 a 2020, disponibilizados no site do INMET. O BHCN é muito importante por colocar à disposição da agricultura irrigada as reais condições para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O balanço hídrico foi elaborado considerando a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Com base nos resultados obtidos verificou-se os períodos mais críticos com deficiência hídrica e os períodos onde a água é mais abundante no sistema: O BHCN revelou a necessidade de reposição de água no solo para todos os municípios estudados com destaque para Morada Nova e Tauá que apresentaram déficit hídrico praticamente em todos os meses do ano. Guaramiranga apresentou as maiores precipitações logo o menor déficit hídrico. Apesar de altas precipitações, Barbalha apresentou déficit hídrico entre maio e dezembro. Com base no índice de aridez (IA) obtido a partir do BHCN, Barbalha é subúmido seco, Guaramiranga é subúmido e úmido, Morada Nova e Tauá têm clima semiárido com déficit hídrico ao longo do ano.

Palavras-chave: Precipitação; Temperatura; Evapotranspiração; Déficit hídrico.

Abstract

The objective of this work was to estimate and present the normal climatological water balance (CWB) of municipalities located in different microregions of different mesoregions of Ceará. Four municipalities were selected: Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova and Tauá, located in southern Ceará, North Ceará, Jaguaribe and Sertões cearenses,

respectively. For the calculation of the CWB, the climatological normals of temperature and precipitation from 1991 to 2020 were used, available on the INMET website. The BHNC is very important for making available to irrigated agriculture the real conditions for an efficient management of water resources. The water balance was elaborated considering the available water capacity (CAD) of 100 mm. Based on the results obtained, the most critical periods were verified with water deficiency and the periods where water is most abundant in the system: The CWB revealed the need for soil water replacement for all the municipalities studied, especially Morada Nova and Tauá that presented water deficit practically in all months of the year. Guaramiranga presented the highest rainfall, therefore the lowest water deficit. Despite high rainfall, Barbalha presented water deficit between may and december. Based on the aridity index (AI) obtained from the CWB, Barbalha is sub-humid dry, Guaramiranga is sub-humid and humid, Morada Nova and Tauá have a semi-arid climate with water deficit throughout the year.

Keywords: Precipitation; Temperature; Evapotranspiration; Water deficit.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estimar y presentar el balance hídrico climatológico normal (BHCN) de municipios ubicados en diferentes microrregiones de diferentes mesorregiones de Ceará. Se seleccionaron cuatro municipios: Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova y Tauá, ubicados en el sur de Ceará, Norte de Ceará, Jaguaribe y Sertões cearenses, respectivamente. Para el cálculo del BHCN se utilizaron las normales climatológicas de temperatura y precipitación de 1991 a 2020, disponibles en el sitio web del INMET. El BHCN es muy importante para poner a disposición de la agricultura de regadío las condiciones reales para una gestión eficiente de los recursos hídricos. El balance hídrico se elaboró utilizando considerando la capacidad hídrica disponible (CAD) de 100 mm. Con base en los resultados obtenidos, se verificaron los períodos más críticos con deficiencia de agua y los períodos donde el agua es más abundante en el sistema: El BHCN reveló la necesidad de reposición de agua en el suelo para todos los municipios estudiados, con énfasis en Morada Nova y Tauá, que presentaron déficit hídrico en prácticamente todos los meses del año. Guaramiranga tuvo la precipitación más alta y por lo tanto el déficit hídrico más bajo. A pesar de las altas precipitaciones, Barbalha presentó déficit hídrico entre mayo y diciembre. Con base en el índice de aridez (IA) obtenido del BHCN, Barbalha es subhúmedo seco, Guaramiranga es subhúmedo y húmedo, Morada Nova y Tauá tienen clima semiárido con déficit hídrico durante todo el año.

Palabras clave: Precipitación; Temperatura; Evapotranspiración; Déficit hídrico.

1. Introdução

Existem três tipos de balanço hídrico: o Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHCN), O Balanço Hídrico Sequencial (BHS) e o Balanço Hídrico de Cultivo específico de uma cultura (BH de Cultivo).

O BHCN permite uma análise climatológica na medida em que se usam dados médios mensais de trinta anos (Normais climatológicas). Normal climatológica é o valor médio de um parâmetro meteorológico (temperatura, precipitação, evapotranspiração) correspondente a um número de anos suficiente para se poder admitir que ele representa o valor predominante daquele elemento no local considerado. Atualmente o INMET disponibiliza os valores mensais e anuais das normais climatológicas dos principais parâmetros meteorológicos, para os períodos 1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020, sendo este último período, objeto do presente estudo.

O balanço hídrico sequencial (BHS) que pode ser diário, semanal, decenal ou mensal. Enquanto o BHCN caracteriza o clima de uma localidade, o BHS permite acompanhar a disponibilidade de água no solo ao longo dos últimos 90 dias, até a data de seu cálculo, bem como as condições previstas para os próximos quatro dias. O cálculo é feito para uma cobertura vegetal de referência (gramínea) e para o tipo de solo indicado por uma base de informações do IBGE para a localidade geográfica escolhida pelo usuário, ou um outro tipo de solo selecionado (INMET, 2022).

O Balanço Hídrico de Cultivo específico de uma cultura (BH de Cultivo) visa calcular o balanço de água no solo levando-se em consideração tanto o tipo de vegetação quanto a sua fase de crescimento e desenvolvimento. Nessa situação, a planta não cobre totalmente o terreno e sua área foliar (superfície transpirante) varia com a idade (dias após plantio ou emergência). Portanto, a evapotranspiração nessa condição difere do potencial, sendo denominada de "evapotranspiração da cultura". Esta evapotranspiração é que será considerada no balanço hídrico de cultivos. O BH de Cultivo e produtividade oferece, dentre outras informações úteis sobre as condições de água no solo, a estimativa da produtividade relativa de uma safra semeada em data definida pelo usuário, para um conjunto de importantes cultivos temporários, com base na ocorrência de déficit hídrico

durante o período da safra (INMET, 2022).

O estado do Ceará está inserido na região Semiárida do Brasil, que é caracterizada por altas temperaturas, elevada insolação e baixo volume pluviométrico, apresentando também irregularidade na distribuição no regime de chuvas.

Dada a grande importância do clima para a produção agrícola, o uso de informações meteorológicas e climáticas é fundamental para que a agricultura se torne uma atividade sustentável (Sivakumar et al., 2000). Nesse contexto, a agrometeorologia, ciência interdisciplinar que estuda a influência do tempo e do clima na produção de alimentos, fibras e energia, assume papel estratégico no entendimento e na solução dos problemas enfrentados pela agricultura (Mavi & Tupper, 2004).

O Ceará está dividido em sete mesorregiões: Mesorregião Noroeste Cearense, Norte Cearense, Metropolitana de Fortaleza, Sertões Cearense, Jaguaribe, Centro-Sul Cearense e Sul Cearense. O presente estudo buscou analisar o clima de quatro municípios (Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá), localizados em diferentes mesorregiões.

O município de Barbalha está localizado no Cariri cearense na mesorregião Sul Cearense, dados agrometeorológicos destacam dois períodos climáticos distintos, um considerado chuvoso, que ocorre no verão, e outro seco, onde os meses de janeiro a abril são os mais chuvosos, com precipitação média anual de aproximadamente 1.048 mm, sendo março considerado o mais chuvoso, correspondendo a cerca de 241 mm, enquanto agosto é o de menor precipitação (2,7 mm). A região apresenta temperatura média anual de 25,7 °C, sendo que a temperatura máxima fica em torno de 27,4 °C nos meses de outubro e novembro, e a mínima de 24,3 °C ocorre nos meses de junho e julho (Matos et al., 2019).

O índice de aridez de uma região depende da quantidade de água proveniente da chuva (P) e da perda máxima possível de água por evaporação e transpiração, ou seja, evapotranspiração potencial (ETp). Conforme a Resolução CONAMA n° 238, de 22 de dezembro de 1997 existem cinco classes de variação para o Índice de Aridez (IA): Hiper-árido (IA < 0,05), Árido (IA 0,05 a 0,20), Semiárido (IA 0,21 a 0,50), Sub-úmido seco (IA 0,51 a 0,65) e Sub-úmido e úmido (IA > 0,65).

De acordo com a FUNCEME (2019), o índice de aridez (precipitação/ET0) do município de Barbalha é 0,59 (1046,6/1756,51) correspondendo ao clima subúmido seco de acordo com a Resolução do Conama (CONAMA, 1997).

O clima da região é seco semiárido com predominância de Aw (tropical chuvoso) segundo a classificação climática de Köppen & Geiger (1928). O município estudado está localizado a nordeste da Chapada do Araripe, próximo das cidades de Juazeiro e Crato com latitude de 7°18'20'' S e longitude de 39°18'9'' W onde sua principal elevação na superfície terrestre é a Chapada do Araripe, e o solo local é classificado como Latossolos vermelho-distróficos (Araújo et al., 2013). A vegetação do município é bastante diversificada com áreas de caatinga, cerrado e cerradão. Nesta área encontra-se a bacia sedimentar do Araripe, caracterizada pela formação de um aquífero no qual surgem diversas nascentes naturais de água (Gomes e Franca, 2019).

O município de Guaramiranga é um dos treze municípios localizados na microrregião do maciço do Baturité e da mesorregião Norte Cearense. A região é cercada por uma grande variedade de vegetação, desde caatinga cerrada densa, florestas tropicais caducifólias, florestas semiperenes úmidas, florestas caducifólias até florestas de várzea, com vegetação também formada por mata atlântica, devido às temperaturas amenas durante todo o ano (Santana et al., 2018). Com precipitação média anual de 1.738 mm, onde apresenta temperatura média de 21,8 °C e as chuvas se concentram entre os meses de janeiro a maio e possui índice de aridez (precipitação/ET0) de 1,17 (INMET, 2017; FUNCEME, 2017), classificado como subúmido e úmido conforme o CONAMA (1997).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, caracteriza-se por um clima tropical úmido com estação seca, com precipitação bem menor no inverno do que no verão. O município de Guaramiranga é um dos mais altos do estado do Ceará com 865 m de altitude, com coordenadas geográficas 4°15'48"S e 38°55'59" W (IPECE, 2017).

Morada Nova é um município localizado no centro-leste do estado do Ceará na mesorregião do Jaguaribe, suas coordenadas geográficas são: 5°06'24"S e 32°22'21"W. O município faz fronteira ao norte com Russas, Beberibe, Cascavel e Ocara; ao sul, Jaguaratama, Jaguaribara, Alto Santo e São João do Jaguaribe; a leste, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte,

Limoeiro do Norte e Russas; a oeste Ocara, Ibaretama, Quixadá, Ibiguitinga e Banabuiú. Tem altitude de 89 metros, possui relevo de maciços residuais e depressões sertanejas e é caracterizado por solos do tipo Bruno não Cálculo, Litólicos e Argissolo Vermelho-Amarelo, apresenta vegetação caatinga arbustiva aberta, floresta, caducifolia espinhosa e floresta, subcaducifolia tropical pluvial. Apresenta clima semiárido e temperatura média de 26°C a 28°C e pluviosidade média de 742,5 mm (IPECE, 2018). O município recebe a denominação “Aw” na classificação climática de Köppen, que caracteriza locais com clima tropical (CLIMA-DATA. ORG, 2018).

De acordo com a FUNCEME (2019) o índice de aridez (precipitação/ET₀) do município de Morada Nova é 0,34 (660,3/1942,14) que o classifica como semiárido conforma a Resolução do Conama (CONAMA, 1997).

Tauá está localizado na microrregião Sertões dos Inhamuns no semiárido nordestino na mesorregião dos Sertões Cearenses, com altitude média de 402,7 metros acima do nível do mar nas seguintes coordenadas geográficas: 6° 00' 11" S e 40° 17' 34" W e é limitado ao norte pelos municípios de Independência e Pedra Branca, ao sul por Parambu e Arneiroz, ao a leste por Mombaça e Pedra Branca, e a oeste por Quiterianópolis e Parambu (IPECE, 2014).

O clima é classificado como Aw de acordo com Köppen e Geiger. O clima tropical semiárido quente de Tauá apresenta temperatura média anual em torno de 27,4°, precipitação média anual de 483,5 mm, concentrada entre os meses de janeiro e maio, com insolação superior a 2.515 horas e índice de aridez (precipitação/ET₀) de 0,31 (INMET, 2016; FUNCEME, 2015), classificado como semiárido conforme o CONAMA (1997).

Os solos de Tauá são classificados em: Luvisossolos órticos hápticos ou crômicos típicos, Neossolos litólicos eutróficos típicos, Fluvisossolos eutróficos e eutróficos típicos, Cambissolos lépticos ou Vertissolos hápticos e Cambissolos eutróficos, Planossolos solódicos típicos e solos órticos hápticos e Vertissolos eutróficos (Gomes, 2015).

Com o presente estudo buscou-se estimar e apresentar o balanço hídrico climatológico normal (BHCN) dos municípios cearenses Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá, situados respectivamente nas mesorregiões Sul cearense, Norte cearense, Jaguaribe e Sertões cearenses.

2. Metodologia

2.1 Localização geográfica dos municípios estudados

Na Tabela 1 consta a localização dos quatro municípios em estudo e na Figura 1 consta o mapa do Ceará com as sucessivas microrregiões destacadas.

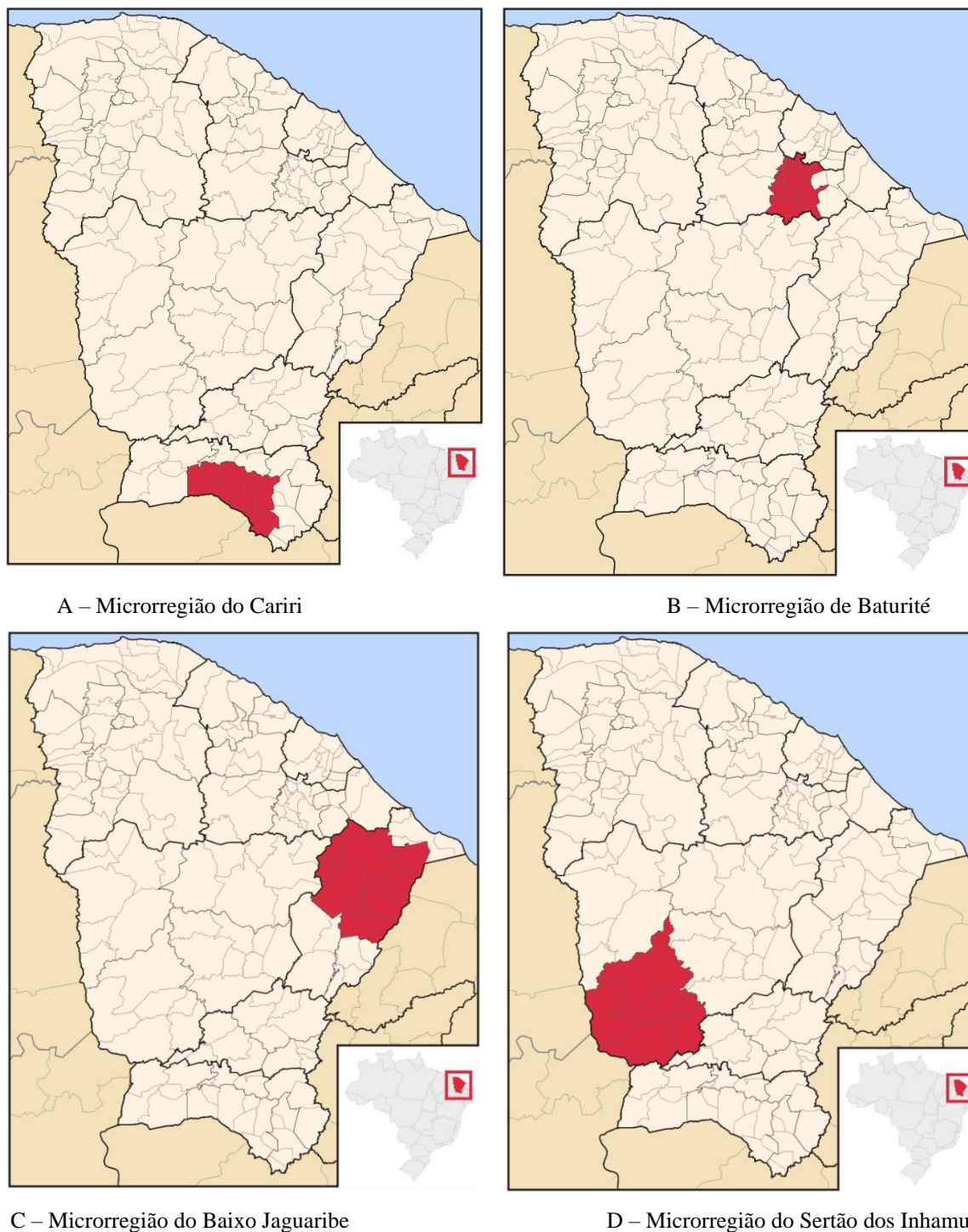
Tabela 1 – Localização dos municípios cearenses de Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá nas mesorregiões e microrregiões.

Município	Mesorregião	Microrregião
Barbalha	Sul cearense	Cariri
Guaramiranga	Norte Cearense	Maçiço de Baturité
Morada Nova	Jaguaribe	Baixo Jaguaribe
Tauá	Sertões Cearenses	Sertão dos Inhamuns

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 1 tem-se o mapa de localização das microrregiões dos respectivos municípios, objetos de estudo.

Figura 1 – Localização geográfica das microrregiões do Ceará, Cariri (A), Maciço de Baturité (B), Baixo Jaguaribe (C) e Sertão dos Inhamuns (D).



Fonte: Adaptada de https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregiões_e_microrregiões_do_Ceará

Na Tabela 2 apresentam-se dados referentes às coordenadas geográficas, precipitação média e temperatura média dos quatro municípios.

Tabela 2 – Caracterização geoclimática* dos municípios Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá.

Município	Latitude sul (°)	Longitude oeste (°)	Altitude (m)	Temperatura média (°C)	Precipitação média (mm)
Barbalha	7,3008333	39,2711111	409,41	26,0	1022,3
Guaramiranga	4,22916666	38,95888888	865,53	20,9	1604,4
Morada Nova	5,0911111	38,36472222	92,0	27,4	718,4
Tauá	6,01749999	40,28138888	410,87	27,1	553,4

*A temperatura e a precipitação são normais climatológicas (1991 – 2020). Fonte: Autores (2022). Adaptada de <https://portal.inmet.gov.br/normais>

2.2 Normais climatológicas de 1991 a 2020

Para o cálculo do BHCN utilizaram-se dados das normais climatológicas da série de 1991 a 2020, disponíveis no site do INMET <https://portal.inmet.gov.br/> em Clima/Normais Climatológicas/Downloads/Período 1991-2020.

As normais climatológicas (precipitação e temperatura) dos meses de março e julho para Morada Nova e as normais climatológicas (precipitação) do mês de julho para Tauá são referentes ao período de 1981 a 2010, as quais não se encontram nos registros de 1991 a 2020.

2.3 Evapotranspiração pelo método de Thornthwaite (1948)

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) ao lado da Precipitação são as variáveis essenciais para o BHNC. Thornthwaite (1948) determinou a estimativa da evapotranspiração potencial considerada como padrão (ETp) a partir da equação 1 da qual derivam-se as equações 2, 3, 4, 5 e 6, devidamente descritas a seguir.

$$ET_{pp} = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (\text{Eq. 1})$$

$$I = \sum_{j=1}^{12 \text{ meses}} i \quad (\text{Eq. 2})$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (\text{Eq. 3})$$

A partir das equações 2 e 3 obtém-se a equação 4.

$$I = \sum_{j=1}^{12 \text{ meses}} \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$a = (6,75 \times 10^{-7} x I^3) - (7,71 \times 10^{-5} x I^2) + (1,7912 \times 10^{-2} x I) + 0,49239 \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

ET_{pp} = evapotranspiração potencial padrão para um mês típico de 30 dias, considerando que cada dia tenha 12 horas de insolação máxima possível (mm);

T = temperatura média de mês (°C);

i = índice calorífico mensal;

I = índice calorífico anual (soma dos índices caloríficos mensais 'i');

a = índice obtido em função de I (função cúbica).

A equação de Thornthwaite, estima a evapotranspiração para uma condição padrão de 12 horas de insolação máxima possível e mês com 30 dias, porém, para estimar a ETp para determinado mês e local deve-se corrigi-la para o número de dias do mês em questão, e para respectiva insolação máxima possível (média do mês). Portanto, utiliza-se o seguinte fator de correção (FC) descrito na equação 6:

$$FC = \frac{NDM}{30} \times \frac{N}{12} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

FC = fator de correção

NDM = número de dias do mês;

N = duração média dos dias do mês (ou a duração correspondente ao 15° dia do mês).

Finalmente, a estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) na escala mensal, é dado pela equação 7 que é o produto das equações 1 e 6:

$$ETp = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times FC \quad (\text{Eq. 7})$$

2.4 Software Planilha Eletrônica do Excel

Com os dados de temperatura e precipitação média mensal, ou seja, de posse das normais climatológicas, alimentou-se o Software Planilha Eletrônica do Excel elaborado por Rolim et al., (1998). Na Figura 2 tem-se a interface do mencionado software.

Figura 2 – Interface do sistema/software utilizado para o cálculo do BHCN.

Balanco Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955)																
Glauco de Souza Rolim Paulo Cesar Sentelhas Departamento de Ciências Exatas: Área de Física e Meteorologia DCE - ESALQ / USP BHseq V6 11993																
CIDADE	Lavras-MG			ANO	1973-2004											
CAD	100			LATITUDE	-21.23333			Tela Normal (CTRL-)								
Número de Linhas	12 Ajustar			NDA inici	1			Tela Inteira (CTRL-)								
Tempo	Num de	NDA	T	P	FC	I	ETP		P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	
MESES	Dias		°C	mm	Tabela		Thornthwaite1948		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Jan	30	1	21,7	272	1,14	9,23			101,78	170,2	0,0	100,0	0,0	101,8	0,0	170,2
Fev	28	31	22,1	192	1,00	9,49	l =	94,1	92,70	99,3	0,0	100,0	0,0	92,7	0,0	99,3
Mar	31	59	20,3	174	1,05	8,72	a =	2,06	86,77	87,2	0,0	100,0	0,0	86,8	0,0	87,2
Abr	30	90	19,8	67	0,97	8,03			71,71	-4,7	-4,7	95,4	-4,6	71,6	0,1	0,0
Mai	31	120	17,5	41	0,96	6,66			54,76	-13,8	-18,5	83,1	-12,3	53,3	1,5	0,0
Jun	30	151	16,3	28	0,91	5,98			44,84	-16,8	-35,3	70,3	-12,9	40,9	4,0	0,0
Jul	31	181	15,8	23	0,95	5,71			43,91	-20,9	-56,2	57,0	-13,3	36,3	7,7	0,0
Ago	31	212	17,7	25	0,99	6,78			58,11	-33,1	-89,3	40,9	-16,1	41,1	17,0	0,0
Set	30	243	19	73	1,00	7,55			67,92	5,1	-77,6	46,0	5,1	67,9	0,0	0,0
Out	31	273	20,4	126	1,09	8,41			85,69	40,3	-14,7	86,3	40,3	85,7	0,0	0,0
Nov	30	304	20,9	213	1,10	8,72			90,90	122,1	0,0	100,0	13,7	90,9	0,0	108,4
Dez	31	334	21,1	272	1,16	8,85			97,75	174,2	0,0	100,0	0,0	97,8	0,0	174,2
TOTAIS			233,2	1506,0					896,8	609,2			0,0	866,6	30,3	639,4
MEDIAS			19	126					75				± 59	72	3	53

Fonte: Modificada de Rolim et al., (1998). Inseriu-se o fator de correção (FC).

Os autores utilizaram o método de Thornthwaite e Mather (1955) para o cálculo do balanço hídrico normal (BHCN). O método considera que a variação do armazenamento (ARM) de água do solo é uma função exponencial que envolve a capacidade de água disponível (CAD) que depende da profundidade efetiva das raízes e atributos físicos do solo e perda de água acumulada (negativa acumulada- NEG-AC).

Para se elaborar o BHC, seja ele o Normal ou o Sequencial, há a necessidade de se conhecer a CAD que representa o máximo de água disponível que determinado tipo de solo pode reter em função de suas características físico-hídricas, ou seja, umidade da capacidade de campo (CC), umidade do ponto de murcha permanente (PMP), densidade do solo (dg) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z), onde se concentram cerca de 80% das raízes. Para fins climatológicos, ou seja, para determinação do BHC apenas para caracterização da disponibilidade hídrica regional, é muito comum a adoção de valores

de CAD variando de 75 a 125 mm.

Para a estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) foi utilizada a equação 7 do método proposto por Thornthwaite (1948) que tem a vantagem de usar apenas os dados de temperatura média do ar do período (no caso, as normais climatológicas da Tabela 3) e da latitude local (Tabela 2). Para o cálculo, considerou que toda a entrada de água no solo se dava pela precipitação (P) e toda a saída pela evapotranspiração potencial (ETp), tendo o solo capacidade para armazenar 100 mm de água disponível (CAD = 100 mm).

Apenas três colunas da planilha (software) são alimentadas: temperatura média mensal (T), precipitação mensal acumulada (P) e o fator de correção (FC) que é tabelado em função da latitude e do mês em questão. As demais colunas (alteração – ALT, evapotranspiração Real – ETr, deficiência hídrica – DEF e excedente hídrico - EXC) são calculadas automaticamente.

O próprio software gera gráficos de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETp), evapotranspiração real (ETR), excedentes (EXC) e déficits hídricos (DEF).

3. Resultados e Discussão

3.1 Normais climatológicas de 1991 a 2020

Na Tabela 3 constam os dados referentes a temperatura e a precipitação dos municípios de Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá.

Tabela 3 – Temperatura média mensal - T (°C) e Precipitação média mensal - P (mm) dos municípios Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá (1991-2020).

Mês	Município							
	Barbalha		Guaramiranga		Morada Nova		Tauá	
	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)
Janeiro	26,2	180,9	21,3	184,1	28,0	90,7	27,4	102,0
Fevereiro	25,6	197,4	21,3	170,7	27,6	108,6	26,7	94,4
Março	25,4	251,7	21,3	274,5	27,2	168,5	26,3	131,3
Abril	25,2	151,0	21,2	294,2	27,2	138,6	25,7	97,8
Mai	25,0	69,8	21,0	209,4	27,0	91,1	25,6	48,4
Junho	24,7	18,2	20,3	177,8	26,6	58,2	25,4	19,6
Julho	24,6	13,9	20,0	105,6	26,3	22,3	26,0	9,8
Agosto	25,5	2,4	20,3	38,2	27,1	8,9	26,9	6,0
Setembro	26,8	4,2	20,7	23,3	27,6	1,0	28,1	1,3
Outubro	27,8	20,2	21,0	29,4	28,0	4,0	28,9	7,2
Novembro	27,8	36,3	21,2	36,1	28,2	3,8	29,1	11,3
Dezembro	27,3	76,3	21,5	63,1	28,4	22,7	28,6	24,3
Média	26,0	1022,3	20,9	1606,4	27,4	718,4	27,1	553,4

Fonte: Autores (2022). Adaptada de <https://portal.inmet.gov.br/normais>

3.2 Precipitação, Evapotranspiração potencial e evapotranspiração real

Na Figura 3 estão projetadas as variáveis de Precipitação (Prec), Evapotranspiração potencial (ETp) e evapotranspiração real (ETr).

De acordo com Thornthwaite e Mather (1955) no BHCN a demanda de água pela atmosfera é dada pela ETp, sendo a

reposta do sistema solo-planta dada pela evapotranspiração real (ET_r). Neste caso, considera-se um decréscimo da relação ET_r/ET_p à medida que decresce o teor de água no solo. A ET_r será igual a ET_p quando o balanço (P-ET_p) for positivo, ou seja, quando P>ET_p.

O município de Barbalha apresenta uma quadra chuvosa acima da média dos municípios da região semiárida do país com uma estação chuvosa bem definida entre os meses de janeiro a abril, quando se concentra 76,4% da precipitação anual que é de 1022,3 mm, sendo março o mês de maior precipitação (251,7 mm) (Tabela 3). De acordo com a Tabela 3, a temperatura média mensal é de 26,0°C, o mês mais frio é julho com temperatura média de 24,6°C enquanto os meses com maior temperatura são outubro e novembro, ambos com 27,8°C. A ET_p e a ET_r acumuladas ao longo do ano, registradas na Figura 3A, foram de 1.553 mm e 825 mm respectivamente. A ET_p e a ET_r apresentaram médias iguais durante os meses de janeiro a abril, mostrando que a precipitação foi suficiente para suprir a demanda hídrica do solo para esse período, entretanto, nos meses subsequentes nota-se que apesar de a ET_r ter acompanhado a curva de precipitação (Prec) a ET_p mostra que a precipitação não foi suficiente para suprir a demanda hídrica do solo nos meses de maio a dezembro. O índice de aridez (Prec/ET_p) com base nos resultados obtidos no BHCN foi 0,66 (1022,3/1552,7) o que caracteriza Barbalha como sendo subúmido seco em acordo com o CONAMA (1997).

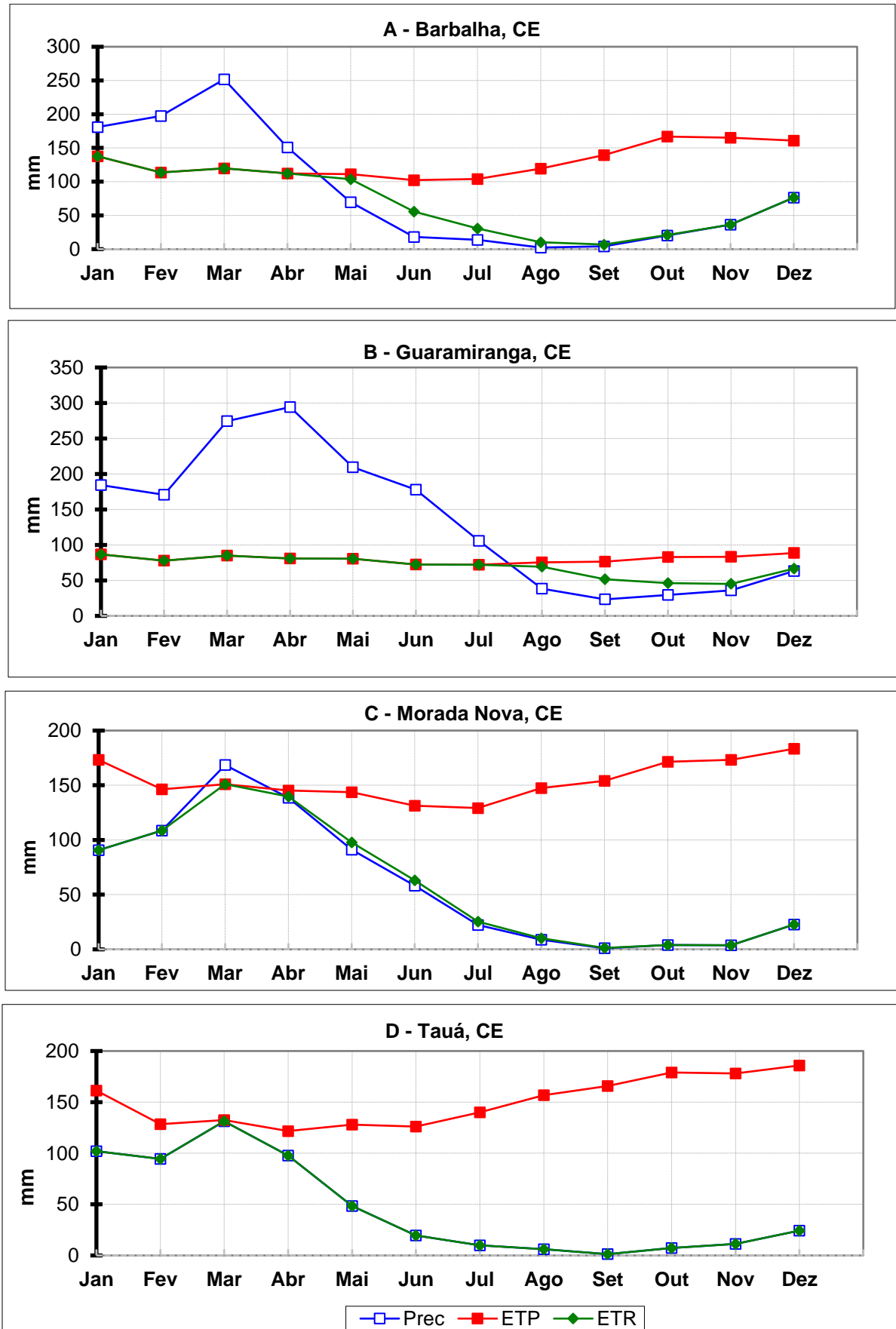
Guaramiranga é outro município cearense que também apresenta quadra chuvosa acima da média da região semiárida, sendo o de maior precipitação média entre os quatro municípios em estudo, com média anual de 1.606,4 mm (Tabela 3). A estação chuvosa de acordo com a Figura 3B ocorre de janeiro a julho, período em que concentra 88,2% da precipitação anual. A temperatura média mensal é de 20,9°C, a máxima e a mínima ocorreram nos meses de dezembro com 21,5°C e julho com 20,0°C respectivamente (Tabela 3). Percebe-se que há certa constância da temperatura e baixa amplitude térmica (1,5 °C) no município de Guaramiranga.

Ainda de acordo com a Figura 3B, a ET_p e a ET_r tiveram médias iguais para os meses de janeiro a julho, pois o balanço é positivo nesse período (P>ET_p). Notou-se que a necessidade hídrica passou a ocorrer a partir do mês de agosto, mostrando que mesmo ocorrendo precipitações neste período há a necessidade de reposição de água no solo. Ao se relacionar os valores acumulados de Prec (1606,4 mm) e ET_p (962,2 mm) obtido no BHCN mediante uso da ferramenta de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), verificou-se para Guaramiranga IA igual 1,67, caracterizando o município de Guaramiranga como sendo subúmido e úmido com base na Resolução n° 238 do CONAMA.

De acordo com software de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), utilizado para o BHCN, A ET_p e a ET_r anual para o município de Morada Nova foram 1.849,46 e 718,49 respectivamente e precipitação média de 718,4 mm. A partir desses dados verifica-se que o IA foi 0,39, portanto de clima semiárido de acordo com a classificação climática contida na Resolução n° 238 do CONAMA. Com base na Tabela 3, Morada Nova apresenta temperatura média de 27,4°C e 28,4°C de máxima no mês de dezembro, a mínima ocorre no mês de julho com 26,3°C. A Prec e a ET_r apresentaram medias semelhantes durante todos o período, diferindo apenas no mês de março onde ocorreu a maior precipitação. Os meses de janeiro, fevereiro, março e abril foram responsáveis por acumular 506,4 mm, representando 70,48% da precipitação total do período. A curva da ET_p do gráfico da Figura 3C para o município de Morada Nova mostra déficit hídrico durante os meses de abril a fevereiro, constatando assim a grande necessidade de reposição de água no solo.

Os dados de Tauá, plotados na Tabela 3, mostram que a temperatura média mensal é de 27,1°C, com a temperatura máxima em novembro (29,1°C) e a temperatura mínima de 25,4°C para o mês de junho. Os maiores índices pluviométricos ocorreram nos meses de janeiro a abril (Figura 3D) com um total de 425,5 mm correspondendo a 76,9 % da precipitação total (553,4 mm). O município de Tauá apresentou Prec e ET_p anuais de 553,4 mm e 1803,7mm, respectivamente, gerando um IA igual a 0,31, refletindo a semiaridez da região conforme a classificação climática regulamentada pelo CONAMA.

Figura 3 – Precipitação (Prec), Evapotranspiração (ETp) e Evapotranspiração real (ETR) do BHNC dos municípios de Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá com base nas normais climatológicas de 1991 a 2020.



Fonte: Autores (2022).

Verifica-se que a ETp manteve-se com médias acima da Prec e da ETr que se equivalem ao longo do ano.

Salienta-se que a classificação climática obtida neste estudo estão em consonância com a fundação cearense de meteorologia e recurso hídrico – FUNCEME (FUNCEME, 2015; FUNCEME, 2017; FUNCEME, 2019).

3.3 Excesso e déficit hídrico

Os excessos e déficits hídricos estão plotados na Figura 4. De acordo com os resultados da Figura 4A, as maiores deficiências de água no solo ocorrem nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, corroborando com os resultados encontrados por Matos et al. (2020) que estudando o BHCN para o município de Barbalha encontraram resultado semelhante. O BHCN para o município de Barbalha indicou deficiência hídrica total de 727,9 mm, média mensal de 60,6 mm. Destaca-se que no período de maio a dezembro tem-se a necessidade de irrigação para que não ocorra decréscimo no crescimento vegetativo das culturas assim como na sua produtividade. Tal situação também foi destacada por Matos et al. (2020). O excedente de água no solo ocorreu principalmente no mês de março onde ocorrem as maiores precipitações, como foi apresentado na Figura 3A.

De acordo com Passos et al. (2017) e Silva e Silva (2016) essa região passar por oito a nove meses com déficit hídrico durante o ano, indicando a necessidade da irrigação suplementar para as áreas cultivadas. Embora a área tenha um volume de precipitação superior ao necessário para o pleno desenvolvimento de algumas lavouras, essas chuvas são mal distribuídas ao longo do ano, fazendo com que o solo permaneça com balanço hídrico negativo durante oito meses do ano (Matos et al. (2017).

Na Figura 4B estão ilustrados os resultados de deficiência e excesso de água para município de Guaramiranga. Verifica-se excedente hídrico para os meses de janeiro a julho, fato incomum para a maior parte dos municípios que estão inseridos na região semiárida do Brasil. Esse excedente ocorre com mais notoriedade nos meses de fevereiro a junho ficando sempre com média acima de 100 mm com destaque para os meses de março e abril que apresentaram precipitações de 274,5 e 294,2 respectivamente (Tabela 3) e excedentes hídricos com cerca de 190 mm e 213 mm, respectivamente.

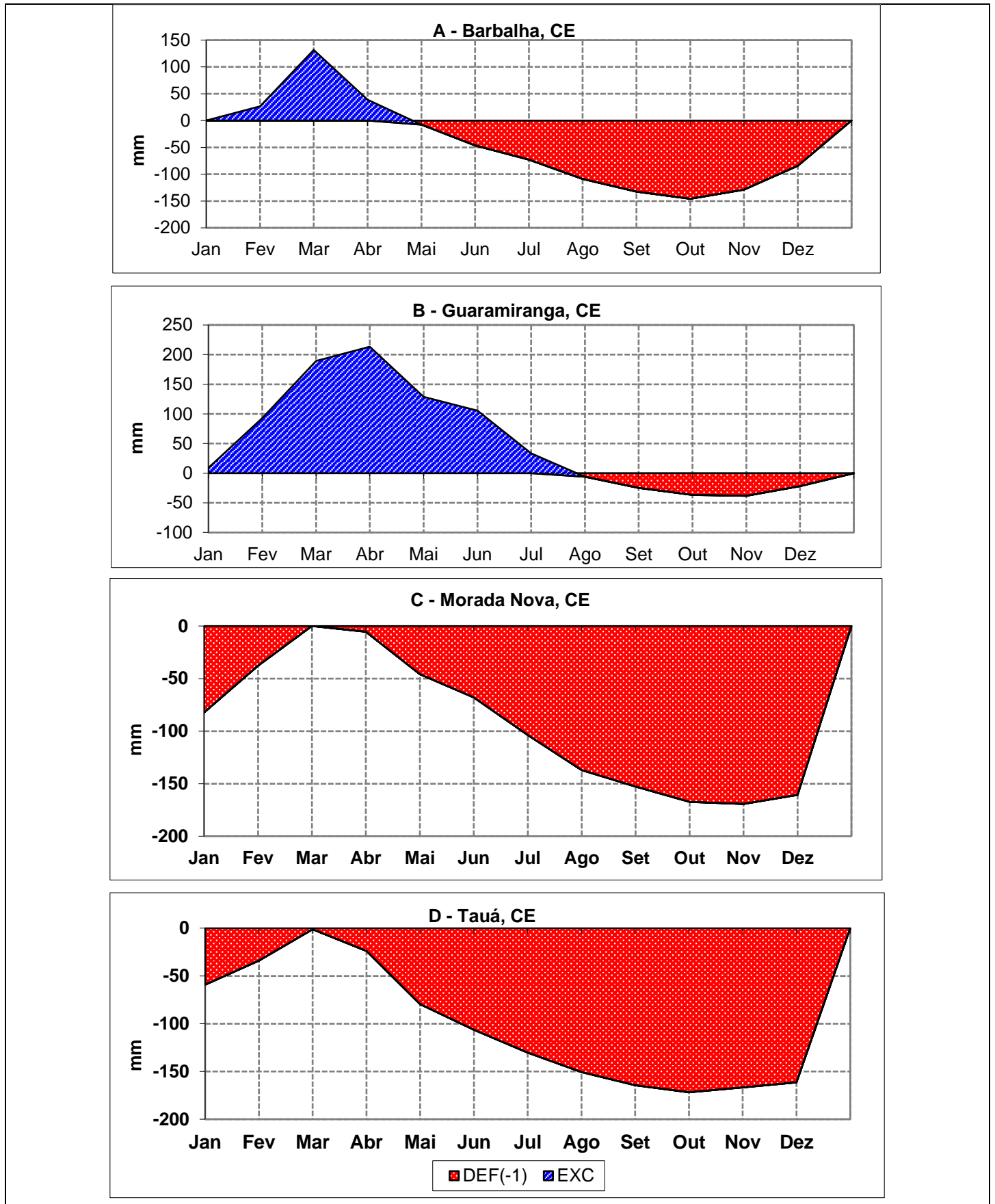
Com a diminuição das chuvas a partir de julho, observa-se que se inicia um período de escassez de água no solo, que vai aumentando até atingir os meses de outubro e novembro, quando se observam os maiores índices de DEF, embora nestes meses ocorram precipitações, estas não foram suficientes para repor toda a água do solo em déficit.

As variáveis climatológicas e os resultados obtidos no BHCN para Morada Nova mediante o uso do software, estão apresentados na Figura 4C. O déficit hídrico prevaleceu em quase todos os meses do ano variando de 0,0 mm no mês de março a 169,4 mm no mês de novembro, o que comprova que não há disponibilidade de água no solo, existindo a necessidade de irrigação durante todo o ano com a finalidade de potencializar a produtividade das culturas agrícolas na região. Ressalta-se que apesar de no mês de março ter apresentado balanço hídrico positivo de 17,5 mm (P-ETp), há a necessidade de irrigar por conta da má distribuição pluviométrica das chuvas.

Além de alterar as funções das raízes comprometendo a absorção de nutrientes, as condições de estresse hídrico em que a planta é submetida geralmente afetam a fotossíntese líquida e os parâmetros de crescimento (Ghosh; Agrawal; Agrawal, 2020). Segundo Fátima et al. (2018), a fertilidade, a composição e a função microbiana do solo podem mudar devido a longos períodos de déficit hídrico. Portanto, é fundamental o uso de irrigação suplementar nos sistemas de produção agrícola que apresentem déficit hídrico para reduzir as perdas e os riscos ocasionados pela seca.

Os resultados do BHCN para o município de Tauá representados na Figura 4D mostram que a deficiência hídrica para este município não é suprida com as precipitações ocorridas durante o ano, constata-se que mesmo com as maiores chuvas ocorridas no mês de março (131,3 mm, Tabela 3) não foram suficientes para suprir a ETp (132,9 mm). A deficiência hídrica média mensal é de 104,09 mm mês⁻¹ com destaque para os meses de agosto a dezembro que apresentaram DEF superiores a 150 mm e 172 mm. A má distribuição das chuvas tem prejudicado o início do plantio das lavouras anuais e a ausência, escassez e má distribuição de chuva na agricultura de sequeiro reduz a produtividade (Santos et al., 2013).

Figura 4 – Excedentes e déficits hídricos do BHNC dos municípios de Barbalha, Guaramiranga, Morada Nova e Tauá com base nas normais climatológicas de 1991 a 2020.



Fonte: Autores (2022).

Gomes et al., (2017) estudando o BHCN 1961 – 1990, para o município de Tauá observaram que durante os meses de fevereiro, março e abril não ocorreu déficit hídrico durante esses meses, registrando até um excedente para o mês de abril. Os autores também verificaram que a região em questão sofre de escassez de água durante nove meses do ano, o que não foi verificado neste estudo de BHCN 1991-2020. Provavelmente houve queda no índice pluviométrico da região, tendo em vista que, no presente estudo não se identificou excedente em nenhum dos meses do ano. O presente estudo indicou DEF de 167 mm para o mês de novembro corroborando com Gomes et al., (2017) que observaram para o mesmo mês déficit hídrico de 160 mm.

4. Considerações Finais

Este trabalho teve o propósito de estimar e apresentar o balanço hídrico climatológico normal (BHCN) de municípios localizados em diferentes microrregiões de diferentes mesorregiões cearenses.

O BHCN é muito importante por colocar à disposição da agricultura irrigada as reais condições para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O clima de uma região (macroclima) é função de vários fatores notadamente geográficos, como latitude, altitude, continentalidade, massas de ar, entre outros. Considerando que o macroclima não pode ser alterado por ações antrópicas na perspectiva de melhorar a produtividade das culturas, o BHCN é uma ferramenta que deve ser ponderada no planejamento agrícola.

De forma geral o BHCN proporcionou informações indispensáveis do comportamento da temperatura, precipitação, evapotranspiração, evapotranspiração real, da deficiência e do excesso de água no solo da sequência histórica estudada (1921 a 2020) para os quatro municípios.

Os meses com temperaturas médias mais elevadas foram novembro e dezembro variando de 21,5°C a 29,1°C, a mínima ocorreu no mês de julho para Barbalha, Guaramiranga e Morada Nova e, em junho para o município de Tauá.

O balanço hídrico mostrou que os municípios de Morada Nova e Tauá apresentam déficit hídrico no solo em praticamente todo o ano, mesmo nos meses de janeiro a março onde ocorreram as maiores precipitações, revelando a necessidade do uso da irrigação para suprir as necessidades hídricas das culturas agrícolas nestes municípios.

O município de Barbalha apresentou necessidade de repor a água no solo iniciando somente a partir meados do mês de abril.

Guaramiranga apresenta-se com maior altitude (cerca de 865 m) e maior precipitação (superior a 1600 mm), logo com o menor déficit hídrico, caracterizado pelo clima subúmido e úmido, com baixa amplitude térmica (1,5 °C) com temperaturas estáveis (oscilando entre 20,0 e 21,5 °C).

Os resultados do BHCN dos municípios estudados corroboram para o planejamento das atividades agrícolas dos produtores locais e possibilitaram a caracterização climática dos municípios, de modo que Barbalha é subúmido seco, Guaramiranga é subúmido e úmido, Morada Nova e Tauá, ambos são semiáridos.

Propõe-se e pretende-se realizar um estudo similar, entretanto comparando o BHCN de municípios localizados em diferentes regiões brasileiras.

Referências

Araújo, A. O., Mendonça, L. A. R., Lima, M. G. S. L., Feitosa, J. V., Silva, F. J. A., Ness, R. L. L., Frischkorn, H., Simplício, A. A. F. & Kerntopf, M. R. (2013). Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 37, 754-762.

CLIMA-DATA.ORG (2018). *Clima: Morada Nova*. <<https://pt.climate-data.org/location/880337/>>.

CONAMA (1997). Resolução CONAMA Nº 238, de 22 de dezembro de 1997. DOU nº 248, 23/12/1997, s.1, p.30930

Fatima, A., Singh, A. A., Mukherjee, A., Agrawal, M. & Agrawal, S.B. (2018). Variability in defence mechanism operating in three wheat cultivars having different levels of sensitivity against elevated ozone. *Environmental and Experimental Botany*, 155, 66-78.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2015). Índice de Aridez do Ceará.

- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2017). Brasil. Ceará: FUNCEME, v. 2. <<http://www.funceme.br/>>.
- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2019). <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/11/maapindaridez.png>.
- Ghosh, A., Agrawal, M. & Agrawal, S. B. (2020). Effect of water deficit stress on an Indian wheat cultivar (*Triticum aestivum* L. HD 2967) under ambient and elevated level of ozone. *Science of The Total Environment*, 714, 136-837.
- Gomes, R. C. (2015) Análise geoambiental da degradação do sistema e subsistemas da microbacia hidrográfica do riacho Carrapateiras – Tauá/CE. 2015. *Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)*, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. 293p.
- Gomes, R. C., Zanella, M. E. & Oliveira, V. P. (2017). Análise das Características Climáticas do município de Tauá-CE/Brasil. *Boletim de geografia*. Maringá, 35(2), 83-98. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.31677>.
- Gomes, M. C. R., & Franca, R. M. (2019). Uso da análise multivariada para subsidiar no monitoramento da qualidade da água subterrânea na bacia sedimentar do Araripe, sul do estado do Ceará. *Revista Geociências*, 38, 195 – 205.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2022). Sisdagro – Sistema de Suporte de Decisão na Agropecuária. <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/balancoHidrico>>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Normais climatológicas 1991-1920. <https://portal.inmet.gov.br/normais>.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas de Tauá*. (2016). <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2018). Brasil. Ceará: v.1, 2017. <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>
- IPECE - Instituto de Pesquisas e Estratégia Econômica do Ceará (2014). *Perfil Básico Municipal de Tauá - CE*. IPECE.
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2017). *Brasil. Ceará: v. 30, 2017*. <<http://www.ipece.ce.gov.br/index.php/component/content/article/213-ano-2017/43931-ano-2017>>.
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2018). *Perfil municipal 2017 Morada Nova*. <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Morada_Nova_2017.pdf>.
- Koppen, W., & Geiger, R. (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. n.p.
- Matos, R. M., Silva, P. F., Barros, A. S., Dantas Neto, J., Medeiros, R. M., Saboya, L. M. S. & Santos, B. D. B. (2019). Aptidão agroclimática para o cultivo da mandioca no município de Barbalha - CE. *Revista Brasileira de Geografia Física [online]* 12. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p%25p>.
- Matos, R. M., Silva, P. F., Borges, V. E., Medeiro, R. M., Francisco, P. R. M., & Dantas Neto, J. (2017). Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha - CE. *Revista Espacios* 38, 27-27.
- Matos, R. M. Silva, P. F. Medeiros, R. M. Santos, B. D. B. Barros, A. S., Dantas Neto, J. & Saboya, L. M. F. (2020). *Revista Brasileira de Geografia Física*. 13(3). 973-982.
- Mavi, H. S. & Tupper, G. J. (2004). *Agrometeorology – Principles and application of climate studies in agriculture*. Food Products Press. 2004. 364p.
- Passos, M. L. V., Zambrzycki, G. C. & Pereira, R. S. (2017). Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas - MA. *Scientia Agraria [online]* 18. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i1.48584>.
- Rolim, G. S., Sentelhas, P. C., & Barbieri, V. (1998). 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*, 6(1). 133-137.
- Santana, C. B., Lima, E. M., & Lima, M. B., (2018). Caracterização climática do município de Guarimiranga – Ceará. *III Seminário de Iniciação Científica – SEMIC 2018 – IFCE Juazeiro do Norte – CE*, 16 a 20 outubro de 2018.
- Santos, G. O., Lima, F. B. & Vanzela, L. S. (2013). Balanço hídrico espacial das culturas inseridas na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, noroestepaulista. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza. 7(1), 03-16.
- Silva, A. F. & Silva, M. C. B. C. (2016). Agricultura no nordeste semiárido e os resíduos orgânicos aproveitáveis. *Revista equador*, 5, 102-119.
- Sivakumar, M. V. K., Gommers, R. & Baier, W. (2000). Agrometeorology and sustainable agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 11-26.
- Thornthwaite, C. W. (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R. (1955) The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. *Publications in Climatology*, 3(1). 104p.
- Wikipédia - <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregiões_e_microrregiões_do_Ceará>