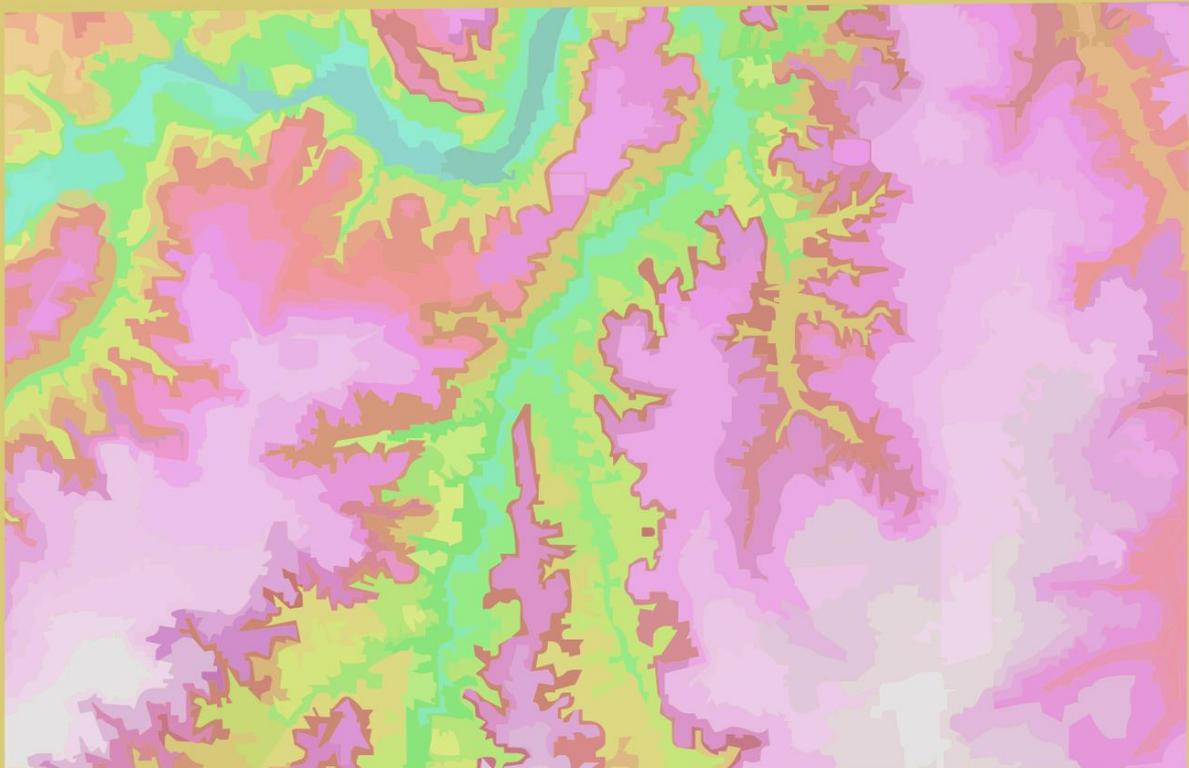


# **Estudo Climatológico da Bacia Hidrográfica do Rio Uruçuí Preto**



**Raimundo Mainar de Medeiros  
Paulo Roberto Megna Francisco**

**Organizadores**

**ESTUDO CLIMATOLÓGICO  
DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO URUÇUÍ PRETO-PI**

## **Organizadores**

Paulo Roberto Megna Francisco

Raimundo Mainar de Medeiros

# **Estudo Climatológico da Bacia Hidrográfica do Rio Uruçuí Preto-Piauí**

1.a Edição

Campina Grande-PB

2016



**EDUFPG**

© Todos os direitos desta edição são reservados aos autores/organizadores e à EDUFCG

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

E82	Estudo climatológico da Bacia Hidrográfica do Rio Uruçuí Preto-Piauí / Paulo Roberto Megna Francisco, Raimundo Mainar de Medeiros (orgs.). – Campina Grande: EDUFCG, 2016.  287 p.  Formato: E-book. ISBN 978-85-8001-175-3  1. Engenharia. 2. Bacia Hidrográfica - Estudo Climatológico. 3. Bacia Hidrográfica (Rio Uruçuí Preto-Piauí). I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Medeiros, Raimundo Mainar de. III. Título.  CDU 62
-----	--

**EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - EDUFCG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG**

**editora@ufcg.edu.br**

Prof. Dr José Edílson Amorim

**Reitor**

Prof. Vicemário Simões

**Vice-Reitor**

Prof. Dr. José Helder Pinheiro Alves

**Diretor Administrativo da Editora da UFCG**

Medeiros, R. M.

**Revisão, Editoração, Arte da Capa:**

**CONSELHO EDITORIAL**

Antônia Arisdélia Fonseca Matias Aguiar Feitosa (CFP)

Benedito Antônio Luciano (CEEI)

Consuelo Padilha Vilar (CCBS)

Erivaldo Moreira Barbosa (CCJS)

Janiro da Costa Rego (CTRN)

Leonardo Cavalcanti de Araújo (CES)

Marcelo Bezerra Grilo (CCT)

Naelza de Araújo Wanderley (CSTR)

Railene Hérica Carlos Rocha (CCTA)

Rogério Humberto Zeferino (CH)

Valéria Andrade (CDSA)

**Realização**



## **AGRADECIMENTO**

O organizador externa seu agradecimento a todos os autores, em especial à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo e ao Núcleo de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande.

## APRESENTAÇÃO

Temos o prazer de apresentar o livro **Estudo climatológico da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI**, organizado pelo meteorologista Raimundo Mainar de Medeiros, ora doutorando do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande. O livro contém 29 capítulos e aborda temas relacionados aos recursos hídricos e ao clima em geral.

Esta publicação objetiva principalmente suprir uma lacuna existente por informações básicas no âmbito da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. No livro são tratadas as principais ações e atividades exercidas pelos pequenos, médios e grandes produtores rurais, considerando a população dos 24 municípios e 25 fazendas que compõem a bacia do rio Uruçuí Preto.

Especificamente, os conteúdos apresentados abordam modelagem de vazão, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, suporte técnico, auxílio para a tomada de decisão, suporte técnico à sociedade civil, às empresas e aos governos estadual e municipal. Mais especificamente sugere aos agricultores e a população ribeirinha como devem ser utilizadas as informações contidas nos dados meteorológicos, bem como aconselhamento para melhorar o acesso à água potável.

Neste livro os autores oferecem aos estudiosos dos temas tratados e ao público em geral a oportunidade de conhecer a variabilidade climática de municípios localizados na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, estado do Piauí.

Esperamos com esta publicação disponibilizar aos interessados um compêndio de conhecimentos sobre a área de estudo, haja vista que na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto não haviam estudos semelhantes aos abordados neste trabalho. Boa leitura para todos.

Francisco de Assis Salviano Sousa  
Prof. Dr. UACA/CTRN//UFCCG.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>9</b>
Descrição da Área da Bacia Hidrográfica do Rio Uruçuí Preto	
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>13</b>
Variabilidade da Umidade Relativa do ar e da Temperatura Máxima	
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>25</b>
Variação Média Mensal e Anual da Umidade Relativa do ar	
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>32</b>
Flutuabilidade da Temperatura Média do Ar Anual e de seus Quadrimestres Mínimos e Máximos	
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>38</b>
Caracterização Térmica	
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>52</b>
erosividade da Chuva Visando o desenvolvimento do Manejo do Solo	
<b>Capítulo 7</b> .....	<b>58</b>
Estimativa da Erosão Pluvial	
<b>Capítulo 8</b> .....	<b>71</b>
Impactos ambientais na Área de Entorno	
<b>Capítulo 9</b> .....	<b>78</b>
Urbanização e seus Impactos de Entorno	
<b>Capítulo 10</b> .....	<b>84</b>
Estudo da Evaporação e evapotranspiração Mensal e Anual	
<b>Capítulo 11</b> .....	<b>93</b>
Estudo da Evapotranspiração de Referência Mínima, Máxima e Anual	
<b>Capítulo 12</b> .....	<b>101</b>
diagnóstico Hidroclimático	
<b>Capítulo 13</b> .....	<b>111</b>
Variabilidade Espaço Temporal da Precipitação e a Influência dos Fenômenos Meteorológicos El niño e La niña	
<b>Capítulo 14</b> .....	<b>120</b>
Análises das Oscilações Climatologias da Precipitação	
<b>Capítulo 15</b> .....	<b>130</b>
Variabilidade Espaço-Temporal das Precipitações anuais, Máximas e Mínimas	
<b>Capítulo 16</b> .....	<b>139</b>
Variabilidade Pluviométrica e Desertificação	

<b>Capítulo 17</b> .....	<b>143</b>
Análises das Oscilações Pluviométricas	
<b>Capítulo 18</b> .....	<b>152</b>
Análise E Tendência Da Precipitação	
<b>Capítulo 19</b> .....	<b>162</b>
Balanço Hídrico Como Planejamento Agropecuário e Hidrológico Visando Mudanças Climáticas	
<b>Capítulo 20</b> .....	<b>171</b>
Balanço Hidrico Climatológico na Previsão de Mudanças Climáticas	
<b>Capítulo 21</b> .....	<b>178</b>
Análise Temporal Do Balanço	
<b>Capítulo 22</b> .....	<b>187</b>
Caracterização, Análise, Classificação e Variabilidade Climática do Balanço Hídrico	
<b>Capítulo 23</b> .....	<b>198</b>
Mudança e Variabilidade Climática em desempenho ao armazenamento de Água no solo	
<b>Capítulo 24</b> .....	<b>205</b>
Variáveis Climáticas Como Subsídios Para A Gestão De Recursos Hídricos E Agropecuários	
<b>Capítulo 25</b> .....	<b>229</b>
Análise Da Entropia Da Precipitação	
<b>Capítulo 26</b> .....	<b>238</b>
Estimativa De Vazões Médias Diárias Utilizando Modelo Média Móvel	
<b>Capítulo 27</b> .....	<b>245</b>
Estudo Da Direção Predominante Do Vento	
<b>Capítulo 28</b> .....	<b>252</b>
Oscilações Intermunicipais dos Índices Climáticos	
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>263</b>
<i>Curriculum dos autores</i> .....	<b>286</b>

## DESCRIÇÃO DA ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO

Raimundo Mainar de Medeiros

## Introdução

A área da bacia hidrográfica é drenada pelo rio Uruçuí Preto e pelos afluentes Ribeirão dos Paulos, Castros, Colheres e o Morro da água, e pelos riachos da Estiva e Corrente, ambos perenes. A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP), encontra-se preponderantemente encravada na bacia sedimentar do rio Parnaíba, constituindo-se como um dos principais tributários pela margem direita. Possui uma área total de aproximadamente 15.777 km<sup>2</sup>, representando 5% do território piauiense e abrange parte da região sudoeste, projetando-se do sul para o norte em forma de lança (COMDEPI, 2002).

A bacia situa-se entre as coordenadas geográficas que determinam o retângulo de 07°18'16" a 09°33'06" de latitude sul e 44°15'30" a 45°31'11" de longitude oeste de Greenwich. A área integra total ou parcialmente 6 folhas na escala 1:250.000. Em conformidade com a COMDEPI (2002), evidenciando um único conjunto de formas de relevo regional, dominadas pelas formas tabulares-planaltos e platôs, característicos das rochas sedimentares sub-horizontalizadas (Figura 1).

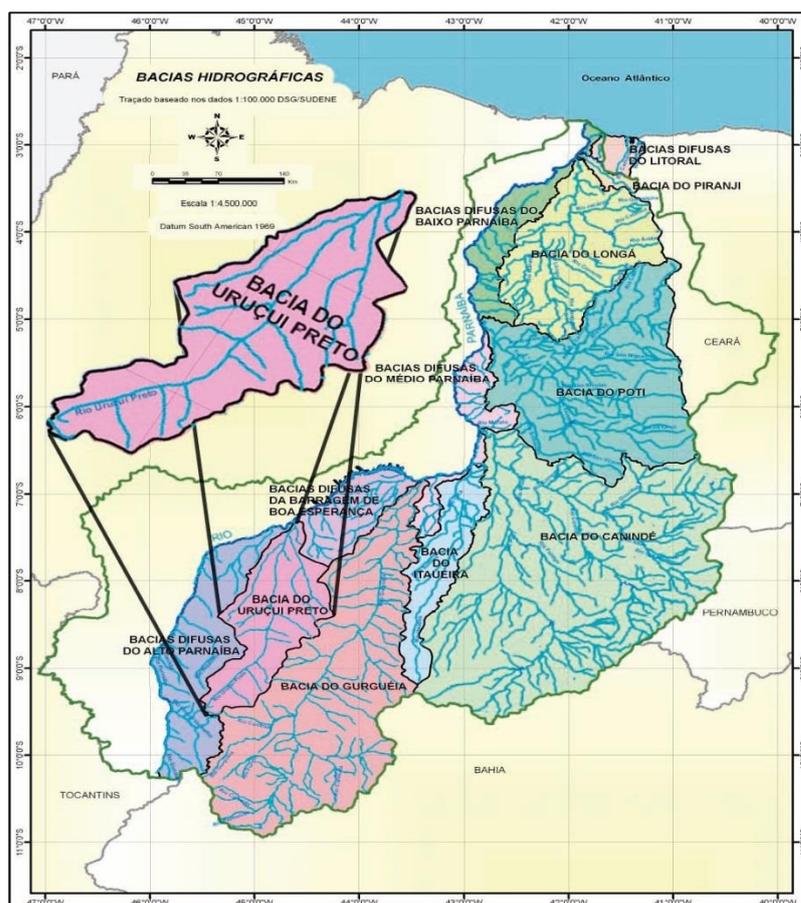


Figura 1. Localização da BHRUP (escala 1:1.000.000).  
Fonte: Adaptada por Medeiros (2014).

O rio principal tem extensão de 532 km, sua declividade média é de 2,1 m km<sup>-1</sup>, com uma área de 48,830 km<sup>2</sup>, abrangendo 49 municípios. A área da bacia é composta por 25 municípios e 24 fazendas. Os postos fluviométricos localizados nos municípios de Jerumenha e Cristino Castro registram vazões médias de 6,9 a 6,1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no trimestre mais seco. E vazões médias de 90 a 54 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no trimestre mais chuvoso. A bacia tem cota de 500 metros com uma extensão de 532 km, sua declividade média é de 2,1 m km<sup>-1</sup>, com uma área de 48,830 km<sup>2</sup>.

Para a COMDEPI (2002), o fornecimento de água subterrânea na bacia do rio Uruçuí - Preto ocorre através de 04 (quatro) aquíferos, Serra Grande, Cabeças, Poti/Piauí e Formação Pedra de Fogo. A Formação Serra Grande estrutura-se preponderantemente de arenitos grossos e médios, conglomeráticos e conglomerados em vários níveis (creme a branco), com estratificação cruzada plana. Ademais, embora se configure como um dos mais destacados do Nordeste, inclusive, distribui-se por toda a Bacia Sedimentar do Parnaíba, não oferece eficientes possibilidades de exploração na região da bacia do rio Uruçuí - Preto em razão das grandes profundidades.

### Características da Bacia Hidrográfica do rio Uruçuí Preto

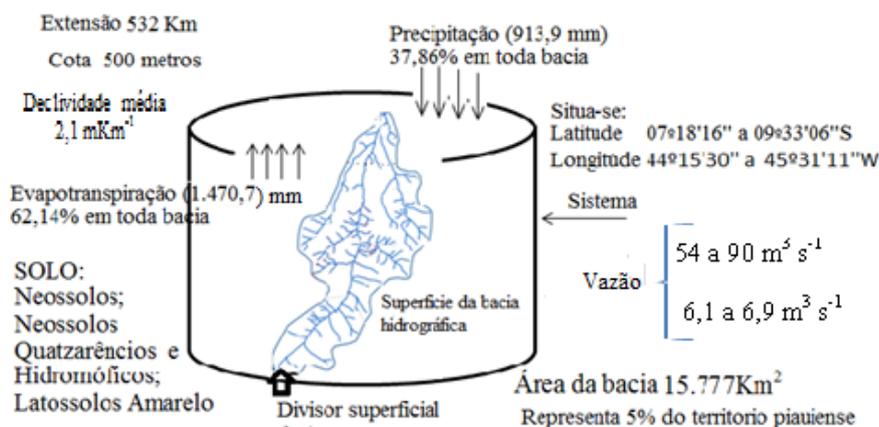


Figura 2. Sistema de superfície da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e seus divisores de água. Fonte: Adaptada por Medeiros (2014).

Na área da BHRUP, os principais recursos hídricos são o rio Uruçuí Preto e seus afluentes pelas margens esquerda e direita sendo fonte de alimentação, renda, lazer, agricultura familiar e de sequeiro e, sobretudo, equilíbrio do ecossistema local.

As enchentes e as inundações já provocaram prejuízos e remoções de diversos povoados e vilas; historicamente as maiores cheias ocorreram entre os trechos dos médio e baixo Parnaíba, nas BHRUP; a ocorrência de enchentes é quase que periódica, dependendo da qualidade do período chuvoso, e, pois nesta área não existem sistemas de contenção de enchentes e suas vazões são aleatórias, auxiliadas pelo relevo (SUDENE, 1999).

### Solos

Geologicamente parte relativamente pequena da bacia, é constituída de terrenos cristalinos; entretanto, na maior parte da área afloram sedimentos da bacia sedimentar do Parnaíba. Apenas o Planalto da Bacia Sedimentar do Parnaíba é identificado como unidade morfo-estrutural na região e além de localizar-se na porção centro-oriental da Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão é constituída por uma sequência de sedimentos areno-argilosos, compondo as diversas formações sedimentares.

Conforme EMBRAPA (1986), as três classes mais frequentes de solos identificadas na bacia do rio Uruçuí - Preto são os Latossolos Amarelos (predominantes na bacia), Neossolos, Neossolos Quartzarênicos e Hidromórficos.

## Vegetação

De acordo com a COMDEPI (2002), a identificação e descrição da vegetação na região da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto encontram-se:

- a partir do topo das chapadas, com uma comunidade vegetal típica das savanas constituída de um estrato descontínuo composto de elementos arbustivos e arbóreos caracterizados por troncos tortuosos, casca espessa, folhas coriáceas e dossel quase sempre assimétrico. Entre as espécies mais frequentes estão o barbatimão, o pau terra de folha larga e a simbaíba, e a superfície do solo é recoberta por um estrato gramíneo de capim agreste;
- a começar das vertentes entre o topo das chapadas e o trecho plano por onde corre o rio Uruçuí - Preto. Nessa vertente, o cerrado se desenvolve de forma mais fechada, composto por espécies de maior porte, entre as quais o pau d'arco.

## Uso e ocupação do solo

Segundo o IBGE (2006) a classificação do uso e ocupação do solo da área em estudo foi realizada levando em consideração sete classes de uso. Na Tabela 1 pode-se observar a discriminação dos valores das áreas e seus percentuais de ocupação na área de estudo.

- Mata – as fitofisionomias enquadradas foram: matas de galeria, matas ciliares, cerrado, veredas;
- Cerrado – a fitofisionomia cerrado no geral.
- Cerrado Quebrado – área que já sofreu um processo de desmatamento e atualmente esta em processo de regeneração natural, sendo denominado desta forma devido à presença de algumas espécies nativas, havendo uma menor diversidade de espécies.
- Queimada – áreas onde houve a ação do fogo seja pela ação antrópica para se efetuar limpeza de certas áreas ou por processo de combustão natural do cerrado.
- Agricultura – áreas de plantio de grãos, dos projetos e fazendas do entorno da região.
- Área Antropizada – áreas utilizadas pelas comunidades, como áreas residenciais, pequenas roças, pastos e outras atividades antrópicas.
- Água - cursos da água, rios, riachos, córregos, lagos e lagoas.

Tabela 1. Quantificação do uso e ocupação do solo e porcentagem das classes.

Uso	Área (há)	%
Mata	10.103,62	4.6
Cerrado	177.111,32	81.3
Queimada	14.194,13	6.5
Agricultura	751,76	0.3
Área Antropizada	1.952,80	0.9
Água	248,88	0.1

Fonte: IBGE (2006).

Apenas terras ribeirinhas e estreitas, áreas próximas às aglomerações urbanas, eram usadas por pequenos produtores para desenvolver atividades de subsistência. Com o desenvolvimento e a expansão agropecuária e mineral grande áreas terrestres estão sendo utilizadas para as finalidades supracitadas, e não levam em considerações alguns elementos meteorológicos que podem minimizar as ocorrências de prejuízos de efeitos anômalos que podem vier acontecer.

Com a descoberta da área do Cerrado e a chegada de agricultores, produtores, latifundiários e indústria para implantação de novas culturas agrícolas como: soja, mamona, girassol, mandioca, milho, sorgo, arroz, feijão e de outras monoculturas, vem ocorrendo uma urbanização crescente na área de estudo, além do desenvolvimento das cidades (CEPRO, 2003).

## Clima

Os regimes pluviométricos municipais possuem uma distribuição irregular espacial e temporal, que é uma característica do Nordeste brasileiro, em função disto a sua sazonalidade de precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco meses no período chuvoso em conformidade com Silva (2004).

Segundo a classificação de Köppen distinguem-se dois tipos climáticos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco. A temperatura média mensal ao longo dos anos mantém acima dos 25 °C, embora ocorram, frequentemente, mínimas e máximas absolutas acima da normalidade durante o inverno segundo Medeiros (2014).

Entre os meses de novembro a março os índices pluviométricos são elevados com precipitações superiores a 100 mm. E nos meses de abril a outubro a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto sofre com a escassez de água. Essas características climáticas causam uma alta variabilidade no volume dos mananciais, causando assim, em períodos de seca, a redução da quantidade e qualidade da água dos reservatórios à medida que os nutrientes são concentrados com a perda do volume de água pela evaporação e evapotranspiração.

A precipitação pluvial passa a ser a única fonte de suprimento de água. Por isso, ao escoar superficialmente a água é barrada em pequenos açudes e usada para o abastecimento e irrigação. Além disso, muitas vezes, uma pequena fração é captada e armazenada em cisternas para fins potáveis. No entanto, este elemento do clima é extremamente variável tanto em magnitude quanto em distribuição espacial e temporal para qualquer região e, em especial, no nordeste brasileiro conforme os autores Almeida e Silva (2004); Almeida e Pereira (2007).

O regime de precipitação que compreende a área de estudo começa com as chuvas de pré-estação, iniciando-se na segunda quinzena do mês de outubro. A caracterização do período chuvoso começa nos primeiros dias do mês de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Os fatores provocadores de chuva apresentam-se em predominância para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, são as formações de linhas de instabilidade transportadas pelos ventos alísios de Sudeste/Nordeste, trocam de calor, vestígios de frentes frias quando das suas penetrações mais ativas, formações de aglomerados convectivos, orografia, contribuições de formação de vórtices ciclônicos, esteira transportadora, orografia e os efeitos locais, são fatores que aumentam o transporte de vapor d'água e umidade e conseqüentemente a cobertura de nebulosidade em conformidade com Medeiros (2014).

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (de tempo regular e por volta de sete a oito horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade devido às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. Sua magnitude é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos desativados. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a dezenove (19) dias mensais no intervalo de tempo ocorrido dentro do quadrimestre segundo Medeiros (2014).

### VARIABILIDADE DA UMIDADE RELATIVA DO AR E DA TEMPERATURA MÁXIMA

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho

#### Introdução

Umidade relativa do ar é definida como a relação entre a pressão real de vapor de água e a pressão de saturação de vapor de água, à temperatura ambiente.

A umidade relativa do ar apresenta uma tendência diária inversa ao da temperatura do ar. Isso ocorre porque a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à pressão de saturação de vapor, onde por sua vez é diretamente proporcional à temperatura. O curso anual da umidade relativa do ar acompanha o da cobertura do céu (quantidade de nebulosidade) e a distribuição anual da precipitação.

Normalmente, a umidade relativa é menor durante o dia e maior durante a noite. Com o nascer do sol e com o aumento da temperatura, a umidade relativa inicia sua marcha decrescente, indo alcançar um valor mínimo por ocasião da ocorrência da temperatura máxima. A partir daí, ela inicia sua marcha crescente seguindo as diminuições de temperatura do ar, alcançando o seu valor máximo quando da incidência da temperatura mínima.

No aspecto fitossanitário, muitas doenças de plantas são favorecidas pela ocorrência de período de elevada umidade (afetam as diversas fases de incidências dos patógenos ou tornam as plantas susceptíveis aos mesmos). Afetando, também, a conservação e armazenamentos dos produtos agrícolas, grãos, alimentos, etc..

O alto teor de umidade atmosférica como conseqüência de grande fluxo de vapor d'água para a atmosfera devido às altas taxas de evapotranspiração, a proximidade dos rios, lagoas e lagos distribuídos na região, além da influencia do relevo e do Oceano Atlântico os quais constituem fontes de umidade cuja água evaporada é circulada pelos ventos.

O clima é formado por vários elementos como precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade do ar e outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Porém vale ressaltar que as anomalias podem desestruturar tanto o sistema ambiental, quanto o socioeconômico (COMDEPI, 2002).

A temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois traduz os estados energéticos e dinâmicos da atmosfera e conseqüentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos. Os seres vivos que povoam o planeta vivem adaptados à energia do ambiente. Além da variação diária, a temperatura varia também ao longo do ano, conforme a disposição da terra e da radiação solar. Assim, verifica-se que a temperatura do ar tem um efeito claro no desenvolvimento dos seres vivos, animal e vegetal, sendo necessária a utilização de métodos de estimativas de temperatura confiáveis e seguros para que se possa trabalhar com informações precisas de acordo com Dantas et al. (2000).

De maneira geral, a temperatura afeta a maioria dos processos fisiológicos das plantas, e conseqüentemente a produtividade também é afetada, visto que existem limites ótimos para o crescimento e desenvolvimento adequados de cada espécie de acordo com Assis (2004) e Campos (2010). Easterling et al. (1997) analisaram as tendências nos extremos da temperatura do ar global, e conseqüentemente o comportamento da amplitude térmica. A partir de dados de

5.400 estações meteorológicas distribuídas pelo mundo (54% da superfície terrestre), encontraram tendência de aumento da temperatura máxima de 0,88 °C por século, e aumento da temperatura mínima de 1,86 °C por século. Com isso constatou-se um decréscimo da amplitude. E, na América do Sul, observou-se o aumento da temperatura mínima, especialmente a partir da década de 1970, que pode ter relação com o aumento da nebulosidade conforme Minuzzi (2010).

A temperatura do ar expressa de maneira simples a energia contida no meio. No decorrer de um dia a energia a disposição do ambiente oscila entre dois valores extremos, ou seja, entre a temperatura mínima e a máxima. Como essa energia vai de um extremo ao outro, ela atua no contínuo estímulo aos processos fisiológicos vitais nos seres vivos, a exemplo do desenvolvimento e crescimento das espécies vegetais, como: transpiração, respiração, germinação, crescimento, floração e frutificação. Em cada estágio de desenvolvimento da planta existem faixas adequadas de temperaturas para seu perfeito desenvolvimento em conformidade com Costa et. al., (2011). Além do mais o ciclo diário da temperatura predomina no conforto térmico e na adequação do ser humano e animal em determinados locais. Rodrigues et. al., mostrou que a variabilidade da temperatura mínima para o município de Lavras/MG, vem sofrendo alterações nos valores mínimos.

Medeiros et al., (2012) calcularam a temperatura do ar média diária com o emprego de diferentes metodologias para os municípios de Parnaíba, Picos e Gilbués localizados, respectivamente, na área litorânea, na região central do Estado do Piauí e pertencente à região semiárida, em terras do cerrado e desertificada. Foram utilizados cinco métodos para o cálculo da temperatura média diária do ar, sendo adotado como padrão o recomendado pelo INMET. Os quatro métodos avaliados em relação ao padrão possuíam desempenho classificado como “Muito bom e Ótimo”, com índice de confiança variando entre 0,83 a 0,98. Os resultados ainda indicam que nas condições climáticas da região de estudo os quatro métodos avaliados em relação ao padrão (INMET) podem ser utilizados nas estimativas das temperaturas médias diárias do ar.

A temperatura do ar se destaca entre as variáveis atmosféricas mais utilizadas no desenvolvimento de estudos de impactos ambientais com mudanças nos processos meteorológicos e hidrológicos de acordo com Nogueira et al., (2012) e Correia et al., (2011).

Nesse sentido, o clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e rural e seu estudo pode oferecer importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades e da zona rural. As condições climáticas dessas áreas, entendidas como clima urbano e rural, são derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas (Mendonça, 2003).

O ciclo hidrológico é uma sequência fechada de fenômenos naturais que pode ser dividida em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado no âmbito da Meteorologia e o ramo terrestre, objeto da Hidrologia. A superfície limítrofe dos fenômenos pertinentes a cada um desses ramos é a interface globo-atmosfera. Considera-se que o ramo aéreo do ciclo hidrológico se inicia quando a água é cedida à atmosfera, no estado de vapor, encerrando-se no momento em que é devolvida à superfície terrestre, no estado líquido ou sólido.

Medeiros (2012) analisou a variabilidade mensal da umidade relativa do ar em Teresina, Piauí, no ano de 2009 visando verificar os horários de melhor produtividade para os trabalhos no comércio e na construção civil. Utilizaram dados de umidade relativa da estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos horários das 03h00; 09h00; 15h00 e 21h00 hora local. Observou-se umidade relativa do ar superior a 75% em 65% dos horários de janeiro a maio. Este valor apresenta certo grau de desconforto para os trabalhos da construção civil e no comércio.

O período de molhamento foliar pode ser estimado por sensores ou por meio do número de horas com umidade relativa maior ou igual a 90% (Sentelhas et al., 2008; Huber e Gillespie, 1992; Sutton et al., 1984). Sentelhas et al. (2008) ao estudar modelos empíricos utilizados para

estimar período de molhamento foliar em 4 regiões da superfície terrestre com diferentes condições climáticas, observaram que o número de horas de umidade relativa maior ou igual a 90% possibilitou obter acurácia satisfatória da duração do período de molhamento foliar quando comparado a dados de sensores testados e calibrados sob condições de laboratório.

A umidade do ar é um dos elementos que compõe o clima e é o termo usado para descrever a quantidade de vapor d'água contido na atmosfera. Este vapor d'água é medido em índices: umidade absoluta, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho e pressão de vaporização. A medida mais conhecida é a umidade relativa devido à facilidade de obtenção dos dados, além de indicar o grau de saturação do ar de acordo com Ayoade (1996).

Sendo influenciada por outros elementos que também compõem o clima como, precipitação pluvial e temperatura do ar, a umidade relativa do ar aumenta quando a temperatura diminui e vice versa (Varejão-Silva, 2006). Há ainda a influência dos fatores naturais e de natureza antrópica que exercem alterações climáticas, causando uma variabilidade dos elementos que compõem o clima.

A variabilidade climática é definida por Angelocci e Sentelhas (2007) como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica. O estudo da variabilidade dos parâmetros climáticos, que podem ser constatadas dentro de um período de curto prazo, adquire importância, uma vez que as condições climáticas, consideradas como elemento condicionador da dinâmica do sistema ambiental, encontram-se diretamente ligadas aos processos hidrológicos que envolvem a dinâmica de uma bacia hidrográfica (Steinke, 2004).

Medeiros et al. (1989) delimitaram os regimes de umidade relativa do ar atuante no Nordeste do Brasil (NEB), utilizando 64 estações climatológicas com mais de 10 anos de observações que cobrem a região, o que possibilitou a delimitação de três regimes para o Nordeste do Brasil (NEB). Medeiros et al. (1992) estudaram o comportamento da umidade relativa do ar para algumas estações no Estado do Piauí.

Tem-se como objetivo avaliar a variabilidade espaço temporal da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI, no período de 1960 a 1990 visando a delimitação de regime que caracterize o trimestre mais úmido e mais quente e assim demonstrar a variabilidade da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar mês a mês e anual para a área em estudo.

## **Materiais e métodos**

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER-PI) para o período de 1960 a 1990.

Os dados de umidade relativa do ar foram interpolados para as 24 fazendas e 25 municípios, através dos dados das estações meteorológicas circunvizinhas existentes na bacia de estudo. Foram escolhidas as estações com 10 ou mais anos de observações. Tal critério foi adotado por se considerar a umidade do ar de pouca variabilidade comparada à precipitação. A partir destes critérios interpolaram-se os referidos dados para os municípios circunvizinhos, levando-se em considerações a sua distância dos pontos originais.

Os dados de temperaturas máximas; mínimas e médias foram estimados (por não existir estação meteorológica) pelo software Estima\_T (Cavalcanti e Silva 1994, 2006) estando disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm>.

Calculou-se a amplitude térmica pela diferença entre as temperaturas máximas e mínimas após serem geradas pelo software Estima\_T.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar é uma superfície quadrática, dada por:

$$T_{ij} = a_0 + a_1\lambda + a_2\Omega + a_3h + a_4\lambda^2 + a_5\Omega^2 + a_6h^2 + a_7\lambda\Omega + a_8\lambda h + a_9\Omega h + ATSM_{ij}$$

Em que,

i é longitude,

j é a latitude, em graus,

h é a elevação de cada estação meteorológica analisada, em metros, e

$a_0, a_1, \dots, a_9$  são os coeficientes de regressão.

Os índices i e j indicam, respectivamente, o mês e o ano para os quais se está calculando a temperatura do ar ( $T_{ij}$ ). Assim, o sinal das Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (ATSM),  $ATSM_{ij}$  assume valores positivos e negativos, de acordo com o padrão de comportamento de TSM do oceano. Cavalcanti e Silva (1994) também utilizaram uma superfície quadrática para determinar as temperaturas médias e extremas no NEB e, expressa, porém, apenas em função das coordenadas geográficas.

Pode-se, estimar a série temporal de temperatura, adicionando-lhe a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical, Silva et al.,(2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

i = 1,2,3,.....,12

j= 1960,1961,1962,...., 1990

Após foram realizados testes de consistência para verificar a confiabilidade dos dados gerados e das informações que seriam passadas ou utilizadas para diversas finalidades, principalmente no setor hidroelétrico, irrigação, piscicultura, pecuária, agrícola e de saúde. Esses dados foram tabulados em planilhas eletrônicas para obterem-se as médias das máximas e mínimas absolutas das localidades.

## Resultados e discussão

Para os municípios da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) a confiabilidade dos dados é de 92,5%, com isto podemos montar os dados mensais e anuais dos referidos municípios e ter-se a delimitação do seu trimestre mais úmido. Em relação ao trimestre mais úmido de umidade relativa do ar, tal trimestre é também representativo para o período chuvoso que são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Observando os dados de temperatura máxima do ar representativas da área territorial da bacia hidrográfica do rio Uruçuí preto na distribuição média mensal e anual (Tabela 1), estabeleceu-se o quadrimestre mais quente que ocorrem entre os meses de julho a outubro com flutuações entre 36,1 °C a 39 °C. A temperatura máxima tem um período de redução a partir da segunda quinzena de novembro, prolongando-se até a primeira quinzena de abril com variações entre 33,8 °C a 32,1 °C. Entre maio a outubro as oscilações da temperatura máxima do ar fluem entre 31,9 °C a 34,4 °C. Como a temperatura é inversamente proporcional à umidade relativa do ar assemelha-se ao estudo de Strang (1972).

Tabela 1. Temperatura máxima do ar estimada para a área da bacia hidrográfica.

Ordem	MUNICÍPIO/MESES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1	Alvorada do Gurguéia	30,6	30,2	31,5	31,4	32,1	32,5	33,0	34,6	35,6	34,9	33,3	31,6	32,6
2	Alto Parnaíba	33,3	33,4	32,1	32,9	34,7	36,1	37,3	38,8	39,0	35,6	32,1	32,1	34,8
3	Avelino Lopes	28,8	29,7	31,2	31,0	31,7	31,7	32,0	33,5	34,7	34,1	32,0	30,6	31,8
4	Faz Vereda da Mata	29,7	30,0	31,4	31,2	31,9	32,1	32,5	34,1	35,2	34,5	32,7	31,1	32,2
5	Fazenda Viração	29,3	29,8	31,3	31,1	31,8	31,9	32,3	33,8	34,9	34,3	32,3	30,9	32,0
6	Barreiras do Piauí	28,9	29,1	30,9	30,8	31,5	31,8	32,5	34,1	35,0	34,0	31,1	29,7	31,6
7	Bom Jesus	30,3	30,1	31,6	31,6	32,4	32,8	33,3	34,9	36,0	35,0	33,0	31,2	32,7
8	Fazenda Conceição	29,6	29,6	31,3	31,2	32,0	32,3	32,9	34,5	35,5	34,5	32,1	30,5	32,2
9	Fazenda Barra Verde	30,0	29,9	31,4	31,4	32,2	32,6	33,1	34,7	35,8	34,8	32,5	30,8	32,4
10	Colônia do Gurguéia	31,0	30,4	31,7	31,7	32,5	33,0	33,6	35,2	36,2	35,4	33,8	32,0	33,0
11	Corrente	29,0	29,2	31,0	30,8	31,6	31,7	32,2	33,8	34,9	33,9	31,1	29,7	31,6

12	Fazenda Barras	29,8	29,7	31,3	31,3	32,0	32,4	32,9	34,5	35,6	34,6	32,3	30,6	32,2
13	Fazenda Caxingó	29,7	29,7	31,3	31,2	32,0	32,3	32,8	34,4	35,5	34,6	32,3	30,7	32,2
14	Fazenda Jenipapeiro	29,7	29,7	31,3	31,2	32,1	32,3	32,8	34,4	35,5	34,5	32,2	30,6	32,2
15	Cristalândia do Piauí	28,8	29,1	30,9	30,7	31,4	31,5	32,0	33,5	34,6	33,7	30,9	29,5	31,4
16	Cristino Castro	30,6	30,3	31,7	31,7	32,7	33,0	33,6	35,2	36,3	35,3	33,4	31,6	33,0
17	Fazenda Lagoa Grande	29,7	29,7	31,3	31,2	32,0	32,3	32,8	34,4	35,5	34,5	32,2	30,6	32,2
18	Fazenda Japeganga	30,2	30,0	31,5	31,5	32,4	32,6	33,2	34,8	35,9	34,9	32,8	31,1	32,6
19	Fazenda Malhadinha	29,7	29,7	31,3	31,2	32,0	32,3	32,8	34,4	35,5	34,5	32,2	30,6	32,2
20	Curimá	30,2	30,0	31,7	31,7	32,6	32,7	33,1	34,7	35,8	34,8	32,7	31,0	32,6
21	Fazenda São Francisco	30,0	29,9	31,5	31,5	32,3	32,5	33,0	34,5	35,6	34,7	32,4	30,8	32,4
22	Currais	30,0	29,8	31,3	31,2	31,9	32,3	32,9	34,5	35,5	34,6	32,5	30,9	32,3
23	Eliseu Martins	30,8	30,3	31,5	31,4	32,1	32,6	33,2	34,7	35,7	35,1	33,5	31,8	32,7
24	Fazenda Puca	30,0	30,0	31,4	31,3	32,2	32,5	33,0	34,6	35,6	34,6	32,4	30,9	32,4
25	Fazenda Chupeiro	29,6	29,5	31,1	31,0	31,6	31,9	32,5	34,1	35,1	34,3	31,9	30,4	31,9
26	Gilbués	28,5	28,7	30,5	30,2	30,7	31,0	31,6	33,2	34,1	33,4	30,4	29,3	31,0
27	Fazenda Melância	29,7	29,6	31,1	31,0	31,6	31,9	32,4	33,9	35,0	34,3	32,0	30,6	31,9
28	Fazenda Santa Maria	29,6	29,6	31,1	31,0	31,7	32,0	32,5	34,1	35,1	34,3	32,0	30,5	32,0
29	Faz Boqueirão dos Felipes	29,5	29,4	31,1	31,0	31,7	32,1	32,7	34,3	35,3	34,4	31,8	30,3	32,0
30	Fazenda Bela Vista	29,6	29,5	31,0	31,0	31,6	32,0	32,6	34,2	35,2	34,3	31,9	30,4	31,9
31	Fazenda Galheiro	29,7	29,6	31,1	31,0	31,6	31,9	32,5	34,0	35,0	34,3	32,1	30,6	31,9
32	Júlio Borges	29,9	29,8	31,5	31,4	32,2	32,2	32,6	34,1	35,3	34,4	32,3	30,7	32,2
33	Manoel Emidio	30,5	30,1	31,3	31,2	31,8	32,3	33,0	34,5	35,5	34,9	33,2	31,6	32,5
34	Monte Alegre do Piauí	28,7	28,9	30,6	30,4	30,9	31,2	31,9	33,5	34,4	33,6	30,7	29,5	31,2
35	Fazenda Paus	29,7	29,6	31,1	31,0	31,6	31,9	32,5	34,0	35,1	34,3	32,1	30,6	32,0
36	Fazenda Vereda da Glória	29,7	29,6	31,1	31,0	31,6	31,9	32,5	34,0	35,1	34,3	32,1	30,6	32,0
37	Fazenda Regalo	29,7	29,6	31,1	30,9	31,6	31,8	32,3	33,8	34,9	34,2	32,0	30,6	31,9
38	Morro Cabeça no tempo	29,5	29,4	30,8	30,5	31,0	31,1	31,5	32,9	34,1	33,7	31,6	30,3	31,4
39	Palmeira do Piauí	30,4	30,1	31,5	31,5	32,3	32,7	33,3	34,9	35,9	35,0	33,1	31,4	32,7
40	Parnaguá	29,3	29,4	31,1	30,9	31,6	31,7	32,1	33,7	34,8	34,0	31,5	30,1	31,7
41	Fazenda Barreiro	29,7	29,6	31,1	31,0	31,6	31,8	32,3	33,8	34,9	34,2	32,1	30,6	31,9
42	Fazenda Mocambo	29,5	29,5	31,0	30,9	31,5	31,7	32,2	33,8	34,8	34,1	31,8	30,4	31,8
43	Redenção do Gurguéia	30,1	30,0	31,6	31,6	32,5	32,8	33,3	34,9	36,0	34,9	32,7	31,0	32,6
44	Riacho Frio	29,3	29,4	31,2	31,0	31,8	32,0	32,5	34,1	35,1	34,2	31,6	30,1	31,9
45	São Gonçalo do Gurguéia	28,8	29,0	30,8	30,6	31,2	31,5	32,1	33,7	34,6	33,8	30,9	29,6	31,4
46	Santa Filomena	29,2	29,3	31,2	31,2	32,0	32,6	33,5	35,2	36,0	34,7	31,7	30,1	32,2
47	Fazenda Cachoeira	29,7	29,6	31,2	31,2	31,9	32,3	33,1	34,7	35,6	34,6	32,1	30,6	32,2
48	Santa Luz	30,1	29,8	31,2	31,1	31,7	32,0	32,6	34,1	35,2	34,5	32,5	31,0	32,2
49	Sebastião Barros	28,9	29,1	30,9	30,6	31,3	31,3	31,7	33,2	34,4	33,6	30,9	29,6	31,3

Fonte: Medeiros (2014).

Da análise dos dados de umidade relativa do ar representativos da área territorial da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto na distribuição média mensal e anual (Tabela 2) foi possível estabelecer o quadrimestre mais úmido que ocorre nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Observa-se que a umidade relativa do ar decresce nos meses de junho a primeira quinzena do mês de outubro com flutuações mensais entre 41% a 66,0%. Estes decréscimos estão relacionados com o período seco e com os baixos índices de chuvas ocorridos no território. Nos meses de novembro a maio as variações da umidade relativa do ar territorial fluem entre 58% a 84%. A umidade relativa do ar média territorial anual é de 64,2%.

Tabela 2. Umidade relativa do ar para a área da bacia hidrográfica.

Ordem	MUNICÍPIO/MESES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1	Alvorada do Gurguéia	73,0	78,0	80,0	79,0	69,0	57,0	51,0	47,0	47,0	49,0	58,0	66,0	62,8
2	Alto Parnaíba	80,0	84,0	81,8	79,4	76,4	62,1	60,1	59,2	55,0	58,8	64,4	69,8	69,3
3	Avelino Lopes	82,0	77,0	70,0	68,0	62,0	59,0	51,0	47,0	50,0	59,0	73,0	77,0	64,6
4	Faz Vereda da Mata	78,3	79,7	77,3	75,5	69,1	59,4	54,0	51,1	50,7	55,6	65,1	70,9	65,6
5	Fazenda Viração	76,5	81,0	80,9	79,2	72,7	59,6	55,6	53,1	51,0	53,9	61,2	67,9	66,0
6	Barreiras do Piauí	81,0	73,0	70,0	67,0	60,0	64,0	52,0	52,0	49,0	58,0	70,0	77,0	64,4
7	Bom Jesus	75,0	77,0	77,0	74,0	64,0	57,0	50,0	41,0	42,0	54,0	67,0	71,0	62,4
8	Fazenda Conceição	78,0	75,0	73,5	70,5	62,0	60,5	51,0	46,5	45,5	56,0	68,5	74,0	63,4
9	Fazenda Barra Verde	78,0	78,1	76,3	74,1	66,9	59,8	53,1	49,6	48,8	55,5	65,9	71,7	64,8
10	Colônia do Gurguéia	82,0	75,0	65,0	63,0	61,0	61,0	55,0	51,0	50,0	60,0	70,0	82,0	64,6
11	Corrente	80,0	79,0	69,0	74,0	65,0	57,0	55,0	44,0	49,0	60,0	73,0	75,0	65,0
12	Fazenda Barras	78,5	77,9	74,6	73,1	66,2	59,7	53,4	49,2	48,9	56,3	66,9	72,9	64,8
13	Fazenda Caxingó	77,2	76,0	72,8	68,5	63,8	60,5	50,0	47,8	48,8	57,7	69,6	75,4	64,0
14	Fazenda Jenipapeiro	76,6	75,4	72,7	67,2	64,8	60,9	49,3	47,5	48,7	57,3	69,6	75,4	63,8
15	Cristalândia do Piauí	79,0	73,0	71,0	68,0	65,0	62,0	50,0	46,0	49,0	61,0	73,0	78,0	64,6
16	Cristino Castro	70,0	74,0	75,0	72,0	67,0	64,0	49,0	47,0	47,0	51,0	62,0	69,0	62,3
17	Faz Lagoa Grande	74,5	73,5	73,0	70,0	66,0	63,0	49,5	46,5	48,0	56,0	67,5	73,5	63,4
18	Fazenda Japeganga	76,0	78,0	79,0	70,0	65,0	64,0	50,0	45,0	47,0	55,0	69,0	74,0	64,3

19	Fazenda Malhadinha	74,9	74,6	74,5	70,0	65,8	63,3	49,6	46,1	47,8	55,8	67,9	73,6	63,6
20	Curimta	80,0	75,0	69,0	69,0	62,0	58,0	49,0	47,0	50,0	58,0	73,0	78,0	64,0
21	Fazenda São Francisco	74,0	75,5	73,0	63,5	64,5	59,5	49,5	50,5	50,0	57,5	70,0	76,0	63,6
22	Currais	70,0	78,0	73,0	65,0	69,0	59,0	50,0	48,0	50,0	56,0	70,0	71,0	63,3
23	Eliseu Martins	78,0	73,0	73,0	62,0	60,0	60,0	49,0	53,0	50,0	59,0	70,0	81,0	64,0
24	Fazenda Puca	75,5	75,4	72,0	64,9	63,9	59,1	49,4	49,6	50,0	57,6	70,8	76,5	63,7
25	Fazenda Chupeiro	80,0	76,0	71,0	65,0	65,0	60,0	49,0	45,0	49,0	60,0	71,0	77,0	64,0
26	Gilbués	81,0	75,0	70,0	66,0	65,0	60,0	48,0	46,0	48,0	59,0	70,0	76,0	63,7
27	Fazenda Melância	80,0	76,0	71,0	66,0	65,0	60,0	48,0	47,0	47,0	58,0	71,0	77,0	63,8
28	Fazenda Santa Maria	76,4	75,2	72,7	67,0	64,9	60,9	49,2	47,4	48,7	57,2	69,6	75,4	63,7
29	Faz Boqueirão Felipes	78,0	77,0	73,0	67,0	65,0	61,0	49,0	47,0	49,0	58,0	70,0	75,0	64,1
30	Fazenda Bela Vista	77,6	76,5	73,3	69,8	64,4	60,3	50,9	48,2	48,8	57,4	68,9	74,7	64,2
31	Fazenda Galheiro	80,0	78,0	79,0	79,0	65,0	61,0	47,0	48,0	46,0	59,0	70,0	76,0	65,7
32	Júlio Borges	79,0	79,0	79,0	79,0	64,0	61,0	47,0	48,0	46,0	58,0	71,0	78,0	65,8
33	Manoel Emidio	79,0	77,0	75,0	62,0	61,0	59,0	50,0	51,0	50,0	60,0	72,0	84,0	65,0
34	Monte Alegre Piauí	80,0	77,0	69,0	70,0	63,0	58,0	50,0	50,0	50,0	61,0	71,0	74,0	64,4
35	Fazenda Paus	79,3	77,7	74,3	70,3	62,7	59,3	49,0	49,7	48,7	59,7	71,3	78,7	65,1
36	Faz Vereda da Glória	79,0	78,0	75,0	71,0	67,0	65,0	60,0	60,0	60,0	66,0	71,0	78,0	69,2
37	Fazenda Regalo	77,1	76,1	71,9	68,7	62,6	59,9	50,6	46,6	48,3	56,9	69,0	74,1	63,5
38	Morro Cabeça tempo	80,0	77,0	68,0	69,0	62,0	57,0	51,0	49,0	48,0	60,0	70,0	74,0	63,8
39	Palmeira do Piauí	73,0	76,0	76,0	74,0	65,0	61,0	51,0	42,0	48,0	51,0	64,0	71,0	62,7
40	Parnaguá	79,0	78,0	72,0	65,0	60,0	60,0	51,0	48,0	49,0	59,0	70,0	77,0	64,0
41	Fazenda Barreiro	77,3	77,0	72,0	69,3	62,3	59,3	51,0	46,3	48,3	56,7	68,0	74,0	63,5
42	Fazenda Mocambo	77,0	75,6	71,8	68,4	62,7	60,3	50,4	46,8	48,3	57,1	69,6	74,1	63,5
43	Redenção Gurguéia	72,0	76,0	75,0	73,0	64,0	60,0	50,0	43,0	47,0	53,0	63,0	70,0	62,2
44	Riacho Frio	79,0	78,0	72,0	65,0	60,0	60,0	51,0	48,0	49,0	59,0	70,0	77,0	64,0
45	ão Gonçalo do Gurguéia	81,0	76,0	70,0	68,0	61,0	58,0	50,0	47,0	51,0	58,0	73,0	77,0	64,2
46	Santa Filomena	80,0	75,0	69,0	66,0	62,0	61,0	52,0	51,0	49,0	60,0	74,0	75,0	64,5
47	Fazenda Cachoeira	78,0	76,3	71,5	68,0	61,8	59,8	50,8	47,3	49,0	57,5	70,0	74,8	63,7
48	Santa Luz	70,0	75,0	74,0	71,0	65,0	61,0	49,0	45,0	45,0	52,0	63,0	68,0	61,5
49	Sebastião Barros	79,0	73,0	71,0	68,0	65,0	62,0	50,0	46,0	48,0	60,0	74,0	77,0	64,4

Fonte: Medeiros (2014).

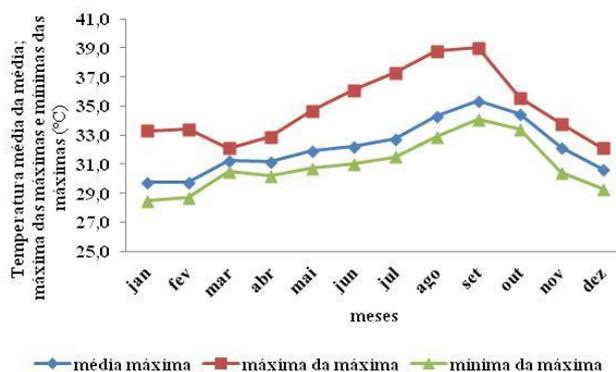
A delimitação do trimestre mais úmido para a área estudada assemelha-se aos regimes observados por Strang (1972) para a precipitação. Tal delimitação caracteriza a ação predominante dos sistemas principais que atuam na geração da estação chuvosa no sul do Estado do Piauí, onde está localizada a bacia hidrográfica em estudo.

Nas Tabelas 1 e 2 observam-se o demonstrativo da temperatura máxima do ar e da umidade relativa do ar mensal e anual, onde se observa as flutuações médias mensais para os 25 municípios e as 24 fazendas. As temperaturas máximas das máximas absolutas ocorrem nos meses de junho a setembro com as referidas flutuações 32,2 °C a 36,1 °C (junho); 32,7 °C a 37,3 °C (julho) Agosto com 34,3 °C a 38,8 °C e em setembro variam de 39 a 34,1 °C. A variabilidade da máxima da mínima absoluta da temperatura do ar oscilou de 28,5 °C em janeiro a 34,1 °C em setembro. Destacam-se os municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí onde ocorrem as menores flutuações das temperaturas máximas. Estas flutuações das médias máximas coincidem com os meses mais seco da área de estudo. Os meses com variabilidade da média da média absoluta que ocorrem nos meses de fevereiro com 28,7 °C a 36 °C no mês de setembro.

A umidade máxima das máximas absolutas ocorre nos meses de dezembro a fevereiro com flutuações oscilando entre 81,8% a 84%. A variabilidade da máxima da mínima absoluta da umidade do ar oscilou de 41% a 58% entre os meses de junho a novembro. A umidade relativa média das médias oscila entre 4,1% no mês de agosto a 77,5% no mês de janeiro, sua taxa anual é 64,2%. Estas flutuações das médias máximas coincidem com os meses mais úmidos do período chuvoso da área de estudo. Estes valores de umidade relativa do ar podem ser influenciados pela massa de ar equatorial continental, que influencia nas características do clima nesta região.

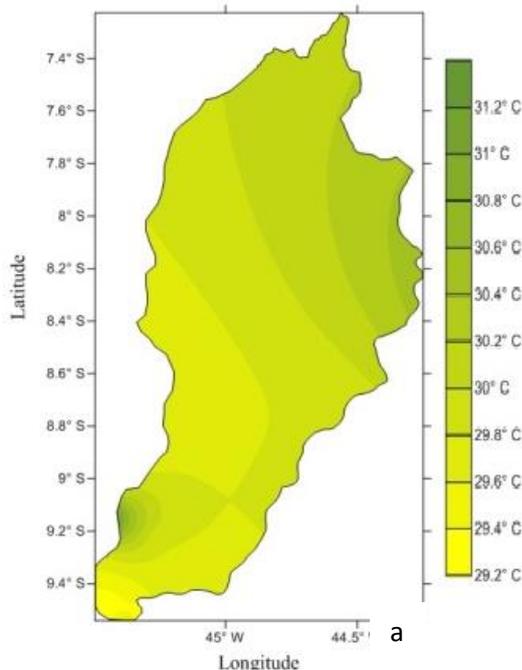
Na Figura 1 observa-se a variabilidade da temperatura do ar média da média; média da máxima e média da mínima para a área da bacia hidrográfica. Destaca-se aumento significativo nas temperaturas máximas média da área estudada entre os meses de maio a outubro. Em que as flutuações ocorrem entre 29,7 °C no mês de fevereiro a 35,3 °C em setembro com uma taxa anual de 32,1 °C, já os municípios de Alto Parnaíba apresentaram como o de maiores incidências de temperatura e o município de menor incidência de temperatura máxima é Gilbués.

As flutuações das temperaturas médias das mínimas se aproximam das médias das máximas por ocorrerem maiores flutuações das médias das mínimas ao amanhecer, deixando as madrugadas mais quentes que o normal, esta flutuação são decorrentes do aquecimento local e suas oscilações locais. No mês de março destaca-se uma aproximação em ambas temperaturas causada pela redução dos elementos atuantes na atmosfera tais como redução da insolação total, maior cobertura de nuvens; índices pluviométricos, evaporação e evapotranspiração entre a normalidade e a redução dos ventos.



**Figura 1.** Ciclo anual da temperatura média da máxima, máxima da máxima e mínima da máxima para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2a observa-se, de um modo geral, um aumento gradativo no sentido sul norte, entretanto, a maior temperatura mínima das máximas ocorrem na porção sudoeste da bacia, seguido do extremo nordeste, enquanto, as menores mínimas das máximas são observadas no extremo sul. Esta configuração é decorrente da variabilidade latitudinal e da topografia da bacia.



**Figura 2a.** Configuração espacial das temperaturas médias mensais das máximas: menor máxima mensal, para a BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

Nota-se na Figura 2b a persistência da subida gradativa da temperatura máxima da máxima, no sentido de sul para norte, uma pequena área no setor sudoeste com máxima temperatura, observa-se, na região sul, que ocorrem reduções de temperaturas máximas da máxima e nas demais áreas predominam temperatura elevadas das máximas.

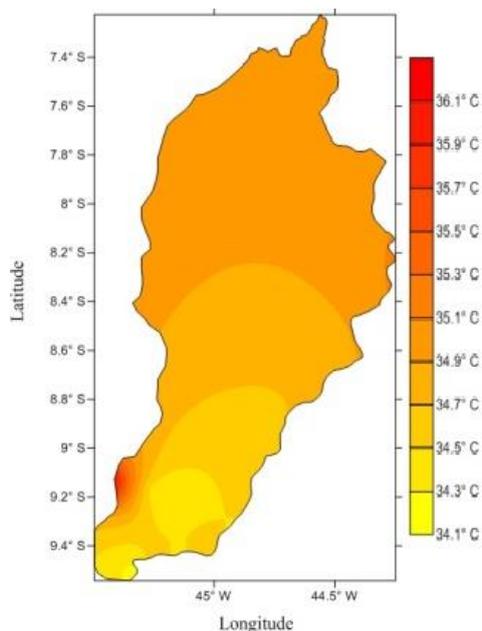


Figura 2b. Configuração espacial das temperaturas b dias mensais das máximas: maior máxima mensal, para a BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

A variabilidade anual da temperatura máxima ocorre com maiores intensidades nas áreas isoladas dos setores sudoeste e nordeste e em pequena faixa da região central de acordo com a Figura 2c. A variabilidade anual ocorre na faixa de 31,5 °C a 33,3 °C em toda a bacia em estudo.

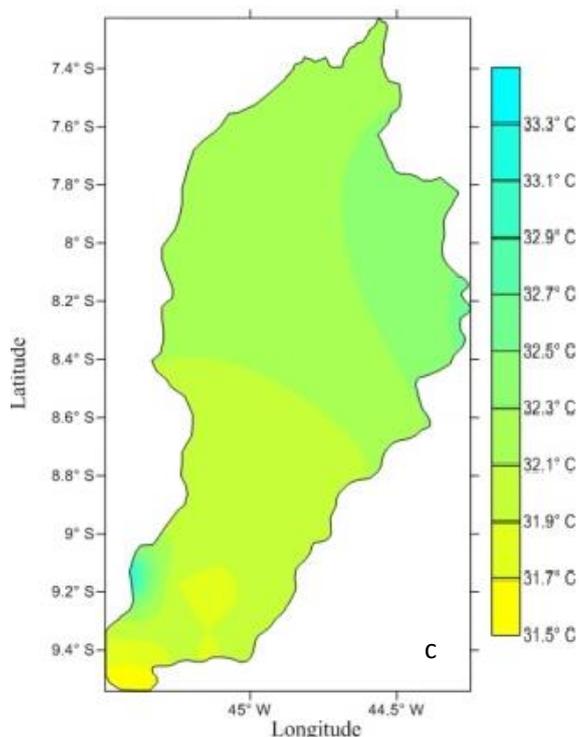


Figura 2. Configuração espacial das temperaturas médias mensais das máximas: média das máximas, para a BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

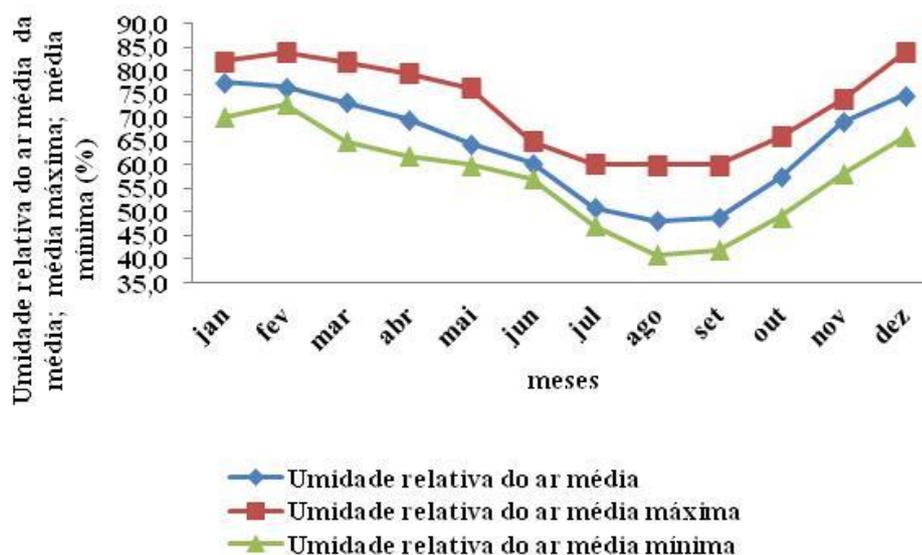


Figura 3. Variabilidade da umidade relativa do ar média da média; média da máxima e média da mínima para a área da bacia hidrográfica.

Fonte: Medeiros (2014).

A variabilidade da umidade relativa do ar mínima para a área estudada flui entre 41 a 73%, estas flutuações de mínimos valores intermunicipais são provocadas pela inibição ou falha nos transportes de umidade e vapor e conseqüentemente a ausência de chuvas.

Os valores médios da umidade relativa do ar média para a área estudada flutuam de 48,1% a 77,5% entre os meses de janeiro e agosto, demonstrados na Figura 3.

Pode ser observado na figura 3 que a umidade relativa mínima observam-se três picos de elevações centrados nos meses de fevereiro, junho e dezembro. No gráfico da umidade relativa máxima destacam-se os meses de julho a setembro com os menores valores de umidade relativa do ar.

Medeiros et al, (1989) realizaram estudos com a variabilidade da umidade relativa do ar para o NEB e delimitaram os regimes úmidos para a referida área.

Barbosa (2005) constatou que a vegetação presente nas áreas verdes condicionou a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.

As baixas umidades relativas do ar ocorridas entre os meses de julho a setembro são decorrentes dos aumentos das temperaturas do ar, da alta incidência de radiação solar a superfície do solo, da baixa cobertura de nuvens e dos efeitos dos b-r-o-bros.

A variabilidade da umidade relativa do ar (UR) mínima (setembro) na área da BHRUP está representada na Figura 4a que tem oscilação entre 47,2% a 52,6%; observa-se que seus menores índices se centram nas áreas sul e em parte da central, nas demais áreas se verifica aumento gradual.

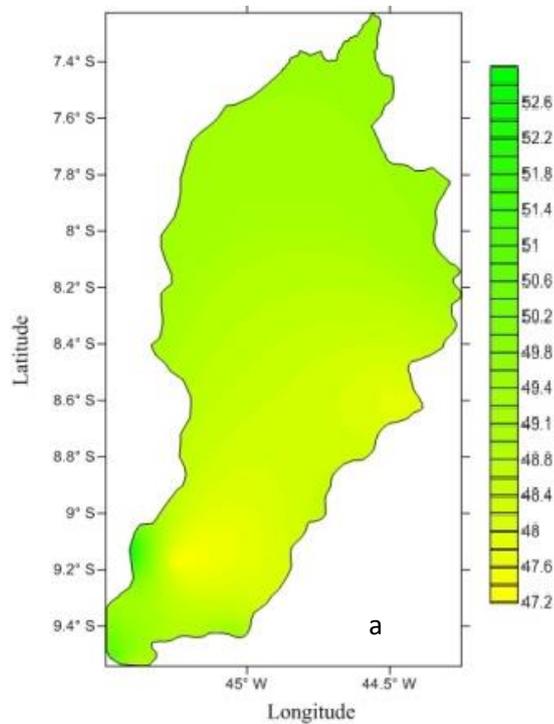


Figura 4a. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar mínima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4b têm-se a variabilidade da UR máxima (fevereiro) e se destaca a área a este e os setores norte da região central e sul da região norte, tal como uma pequena área no setor sul com as baixas concentrações de UR.

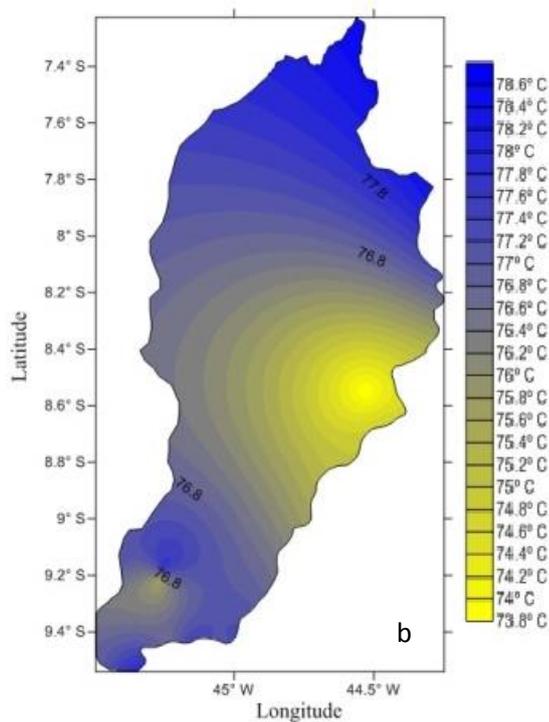


Figura 4b. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4c têm-se as flutuações da UR anual para a área da BHRUP; sua variabilidade encontra-se entre 63,3% a 66,2%, observando-se que as maiores contrações da UR ocorrem nos setores sudoeste, sudeste e ao norte da região central e em toda área do setor norte; já os menores índices anuais ocorrem no setor sudeste da região central e na parte norte da região sul.

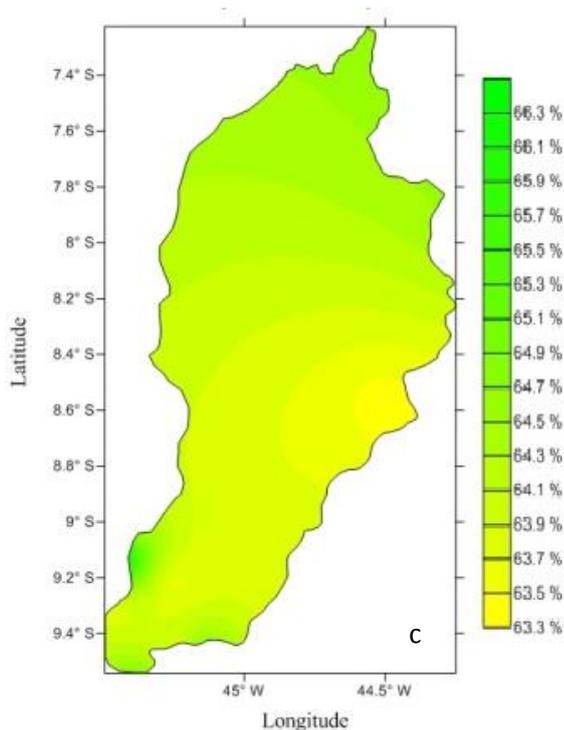


Figura 4c. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990.  
Fonte: Medeiros (2014).

Segundo Baughman e Arens (1996), a umidade do ar é um parâmetro importante para saúde humana, pois valores baixos ou altos da umidade do ar podem ocasionar doenças. Por outro lado, Barbosa (2005) constatou que a vegetação presente nas áreas verdes condicionou a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.

## Conclusões

Os municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí, onde ocorrem as menores flutuações das temperaturas máximas, estas flutuações das médias máximas coincidem com os meses mais seco;

Os meses com variabilidade da média da média absoluta que ocorrem nos meses de fevereiro com 28,7 °C a 36 °C no mês de setembro;

As temperaturas médias das mínimas das máximas ocorrem entre os meses de novembro a fevereiro;

A umidade relativa do ar apresentou menores médias máximas absolutas entre julho a setembro, sendo possível fazer-se uma delimitação de regimes climáticos no Estado com base apenas nos valores médios observados e interpolados da umidade relativa do ar.

No planejamento urbano visa eventos extremos de enchentes, alagamento, inundações, transbordamentos de lagos, lagoas, rios, correios.

Estas flutuações de mínimos valores são provocadas pela inibição ou falha nos transportes de umidade e vapor e conseqüentemente a ausência de chuvas.

Os cenários de umidade relativa do ar para a área em estudo apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local e em termos médios, predominam as classes de ocorrência de 60 a 80% nos meses de novembro a maio;

A elevação e a latitude são as variáveis fisiográficas que explicam melhor a variação da temperatura do ar mensal e anual, na área de estudo.

O aumento de temperatura e a intensa radiação que ocorrer na área em estudo poderá alterar o ciclo das chuvas e, conseqüentemente, a evapotranspiração ficará mais acentuada, favorecendo a deficiência hídrica.

Os valores das temperaturas máxima das máximas tendem a sofrer aumentos com o decorrer do tempo, enquanto os valores das temperaturas mínimas da mínimas tendem a sofrerem aumentos com o decorrer do tempo futuro. As variações das temperaturas médias seguem as tendências das temperaturas máximas e mínimas e suas variações também estão condicionadas a sistemas meteorológicos atuantes.

### VARIAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL DA UMIDADE RELATIVA DO AR

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Brbosa de Brito

#### Introdução

As variações climáticas influenciam o comportamento hídrico, condicionando situações críticas para sociedade e o meio ambiente. A existência de uma forte analogia do volume, frequência e intensidade das chuvas com a disponibilidade hídrica superficial, subterrânea e a agricultura, são essenciais para o ciclo hidrológico, já que as chuvas representam uma fonte primária de água doce no globo terrestre.

As variações que o tempo sofre no dia-a-dia, fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas cujas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos, ligados aos problemas possíveis de afetar a qualidade do ar, a disponibilidade de água potável e qualidade e a quantidade de alimentos disponíveis; neste sentido, pode haver aumento da vulnerabilidade humana, influenciada pelas características climáticas locais devido aos efeitos diretos e indiretos em que estão expostos de acordo com Campos, (2009).

As contínuas alterações químicas e físicas do ar, exercem grande influência na vida vegetativa, sensitiva e indiretamente psíquica do ser humano. Além disso, está submetido às radiações terrestres, solar e cósmica.

A redução da cobertura vegetal natural e a fragmentação dos ecossistemas florestais é um fenômeno mundial, atingido quase a totalidade dos biomas. No caso da caatinga, essa fragmentação é grave, pois constitui um importante fator para o empobrecimento biológico. Além de suas graves consequências para a biodiversidade, compromete ainda uma série de funções dos ecossistemas florestais, incluindo, a conservação dos recursos hídricos (Viana, 1998).

O ar com umidade moderada, é mais confortável e saudável que os dias muito seco ou muito úmido. A umidade relativa do ar, acha-se associada à temperatura, em seus efeitos sobre as funções biológicas.

A umidade elevada com altas temperaturas, aumenta a condução do calor para o corpo, ao mesmo tempo que retarda a evaporação tornando o calor opressivo. Em tempo frio, também aumenta a condução de calor, intensificando a sensação de frio. Enfim, a umidade relativa do ar elevada faz-nos sentir mais aquecidos em tempo quente e mais frios em tempo frio.

Quanto á temperatura e umidade relativa do ar ressaltam-se que a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra." Mendonça e Danni-Oliveira, (2005), ou seja, o conjunto desses três são, no conjunto os principais agentes formadores do clima.

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima, do mercado e da política agrária, torna-se instável e de alto risco, devendo ser bem planejada para garantir o seu sucesso. Entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo esta variável responsável por 60% a 70% da variabilidade final da produção em conformidade com os autores Ortolani e Camargo (1987).

A umidade relativa do ar (UR) é considerada como um dos fatores meteorológicos que influenciam devidamente no crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas, como tam-

bém no armazenamento de grãos, propagação e controle de fungos nocivos à cultura. Reconhece-se que este parâmetro vem sendo pouco explorado principalmente na construção de galpões para estocagem de sementes e alimentos, dada a sua importância torna-se necessário conhecer melhor suas variações espaciais e temporais.

O ciclo hidrológico é uma sequência fechada de fenômenos naturais que pode ser dividida em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado no âmbito da Meteorologia e o ramo terrestre, objeto da Hidrologia. A superfície limítrofe dos fenômenos pertinentes a cada um desses ramos é a interface globo-atmosfera. Considera-se que o ramo aéreo do ciclo hidrológico se inicia quando a água é cedida à atmosfera, no estado de vapor, encerrando-se no momento em que é devolvida à superfície terrestre, no estado líquido ou sólido.

O vapor da água que surge na interface globo-atmosfera mistura-se ao ar por difusão turbulenta, sendo rapidamente transportado pelas correntes aéreas. Posteriormente, encontrando condições favoráveis, volta ao estado sólido ou líquido no interior da própria atmosfera, ou em algum outro ponto da superfície, em geral, muito distante do local em que se originou. Por tudo isso, a concentração de vapor da água no ar é bastante variável, tanto no espaço como no tempo. Essa variação é, em geral, tanto maior quanto mais próxima da superfície-fonte for à camada que se considere. Sob o ponto de vista puramente meteorológico, a variação da concentração de vapor da água no ar não tem implicações profundas, por influir significativamente na energética da atmosfera de acordo com Peixoto (1969).

O conhecimento da quantidade de vapor da água existente no ar é essencial em vários outros ramos da atividade humana. Sabe-se, por exemplo, que a umidade ambiente é dos fatores que condicionam o desenvolvimento de muitos microrganismos patogênicos que atacam as plantas cultivadas e a própria transpiração vegetal está intimamente relacionada com o teor de umidade do ar adjacente. Também é conhecida a influência da umidade do ar na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos de acordo com Neto et al. (1976).

Por outro lado, um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais é, também, a umidade atmosférica reinante no local em debate. Finalmente, para não tornar a lista de exemplos enfadonha, ressalta-se que a manutenção da faixa ótima de umidade do ar constitui objeto de constante controle durante a armazenagem de inúmeros produtos. Reconhece-se que este parâmetro é pouco explorado na bibliografia atual, o que demonstra a necessidade de se conhecer melhor suas variações espaciais e temporais para a bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto.

Apenas terras ribeirinhas e estreitas áreas próximas às aglomerações urbanas eram usadas por pequenos produtores para desenvolver atividades de subsistência. Com o desenvolvimento e a expansão agropecuária e mineral grandes áreas terrestres estão sendo utilizadas para as finalidades citadas, e não levam em consideração alguns elementos meteorológicos que podem minimizar as ocorrências de prejuízos de efeitos anômalos que podem vierem acontecer. Caracteriza-se pelo alto teor de umidade atmosférica, como consequência de grandes fluxos de vapor da água para a atmosfera, devido às altas taxas de evapotranspiração.

A umidade atmosférica é um fator determinante para as atividades biológicas, afetando o desenvolvimento de plantas, pragas e doenças e a sensação de conforto térmico animal. Com relação aos vegetais, altas concentrações de vapor favorecem a absorção direta de umidade pelas plantas e o aumento da taxa fotossintética. A umidade afeta também a transpiração, que é tanto mais intensa quanto mais seco se encontra o ar.

Medeiros et al, (1989), delimitaram os regime de umidade relativa do ar atuante no Nordeste do Brasil (NEB), utilizando 64 estações climatológicas com mais de 10 anos de observações que cobrem a região, o que possibilitou a delimitação de três regimes para o Nordeste do Brasil (NEB). Medeiros et al (1992) estudou o comportamento da umidade relativa do ar pra algumas estações no Estado do Piauí.

Ainda sobre a umidade e temperatura do ar, destacar que há uma relação intrínseca entre estes dois elementos climáticos, conforme descrito por Frota e Schiffer (2003).

O período de molhamento foliar pode ser estimado por sensores ou por meio do número de horas com umidade relativa maior ou igual a 90% (Sentelhas et al., 2008; Huber e Gillespie (1992); Sutton et al. 1984). Sentelhas et al. (2008) ao estudar modelos empíricos utilizados para estimar período de molhamento foliar em 4 regiões da superfície terrestre com diferentes condições climáticas, observaram que o número de horas de umidade relativa maior ou igual a 90% possibilitou obter acurácia satisfatória da duração do período de molhamento foliar quando comparado a dados de sensores testados e calibrados sob condições de laboratório. O alto teor de umidade atmosférica como consequência de grande fluxo de vapor da água para a atmosfera devido às altas taxas de evapotranspiração, a proximidade dos rios, lagoas e lagos distribuídos na região, além da influencia do relevo e da floresta amazônica os quais constituem fontes de umidade cuja água evaporada é circulada pelos ventos.

Sabe-se que a época de plantio de determinadas culturas é dependente da ocorrência da chuva, temperatura, entre outras variáveis meteorológicas e, também, que estas épocas variam de uma região para outra. Muitos estudos já foram realizados utilizando procedimentos clássicos da estatística no sentido de analisar o comportamento dessas variáveis que exercem influência sobre todas as fases do crescimento e desenvolvimento das culturas da região segundo os aturores Mendonça (2008) e Silva et al. (2003).

Botelho et. al. (2003) ressaltam que os problemas mais comuns observados devido à baixa umidade relativa do ar, são: complicações alérgicas e respiratórias, devido ao ressecamento das mucosas, sangramento pelo nariz, ressecamento da pele, irritação dos olhos, eletricidade estática nas pessoas e em equipamentos eletrônicos além do aumento no potencial de incêndios.

Na agricultura, a umidade relativa do ar também se torna importante; pois, a mesma pode originar danos aos cultivos agrícolas e, deste modo, referida componente, com outras variáveis meteorológicas, como baixas temperaturas, chuvas fortes e ventos intensos, formam um quadro desagradável ou mesmo extremamente danoso para as plantas (Sediyama et al. 2007). Mas a agricultura também pode promover possíveis alterações no sistema atmosférico de uma região, através das queimadas de cultivo.

O trabalho objetiva uma análise da variação média mensal e anual da umidade relativa do ar, visando à delimitação de regime que caracterize o trimestre mais úmido para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, assim como demonstrar a variabilidade da umidade relativa do ar mês a mês e anual para a área em estudo.

## **Material e métodos**

Apesar de sua extensão territorial, a BHRUP conta com um número limitado de estações que medem ou registram dados de umidade relativa do ar. Para suprir essa limitação tem-se utilizado o método da interpolação simplificado para este elemento climático, com base nas coordenadas geográficas desenvolveram equações empíricas para estimar o referido parâmetro para a área de estudo. Para tanto utilizou-se dos dados de umidade relativa do ar a partir das estações meteorológicas convencionais do INMET dos municípios circunvizinhos, compreendendo o período de 1960 a 1990.

Utilizou-se dos dados diários de umidade relativa do ar convencional e interpolados das estações que operam no estado. Foram escolhidas as estações com 10 ou mais anos de observações. Tal critério foi adotado por se considerar a umidade do ar de pouca variabilidade comparada à precipitação; a partir desses critérios interpolaram os referidos dados para os municípios circunvizinhos, levando-se em considerações a distância dos pontos originais.

Para os horários de observações diárias foram calculados as médias mensais e respectivos desvios padrão para cada uma das estações que operam no estado. A carta representativa

do comportamento médio mensal e anual da umidade relativa do ar, no estado, foi utilizada no estabelecimento de curvas médias representativas de cada regime de umidade, com base no trimestre mais úmido.

Após as etapas acima citadas foram realizados testes de consistência para ver-se a confiabilidade dos dados gerados e das informações que seriam passadas ou utilizadas para diversas finalidades, principalmente no setor agropecuário e da saúde.

Para os municípios da área territorial da bacia hidrográfica a confiabilidade dos dados é de 92,5%, com isto podemos montar os dados mensais e anuais dos referidos municípios e ter-se a delimitação do seu trimestre mais úmido. Em relação ao trimestre mais úmido de umidade relativa do ar, tal trimestre é também representativo para o período chuvoso que são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

## Resultados e discussão

A Figura 1 Representa a umidade relativa do ar média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP.

Os valores médios da umidade relativa do ar média para a área estudada flutuam de 48,1% a 77,5% entre os meses de janeiro e agosto, demonstrados na Figura 1.

Pode ser observado na figura 1 que a umidade relativa mínima observam-se três picos de elevações centrados nos meses de fevereiro, junho e dezembro. No gráfico da umidade relativa máxima destacam-se os meses de julho a setembro com os menores valores de umidade relativa do ar.

Medeiros et al. (1989) realizaram estudos com a variabilidade da umidade relativa do ar para o NEB e delimitaram os regimes úmidos para a referida área.

Barbosa (2005) constatou que a vegetação presente nas áreas verdes condicionou a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.

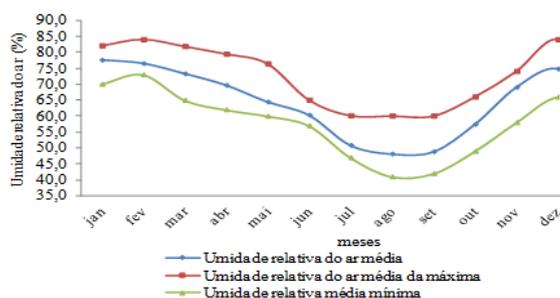


Figura 1. Ciclo anual da umidade relativa do ar média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

Fonte: Medeiros (2014).

As baixas umidades relativas do ar ocorridas entre os meses de julho a setembro são decorrentes dos aumentos das temperaturas do ar, da alta incidência de radiação solar a superfície do solo, da baixa cobertura de nuvens e dos efeitos dos b-r-o-bros.

A Figura 2 (a, b, c) representam a variabilidade da umidade relativa do ar (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

A variabilidade da umidade relativa do ar (UR) mínima (setembro) na área da BHRUP está representada na Figura 2a que tem oscilação entre 47,2% a 52,6%; observa-se que seus menores índices se centram nas áreas sul e em parte da central, nas demais áreas se verifica aumento gradual.

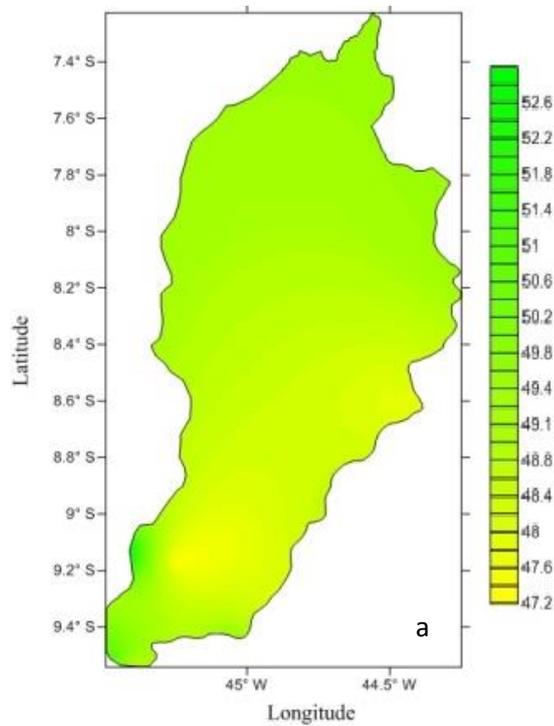


Figura 2a. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar (a) mínima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2b têm-se a variabilidade da UR máxima (fevereiro) e se destaca a área a este e os setores norte da região central e sul da região norte, tal como uma pequena área no setor sul com as baixas concentrações de UR.

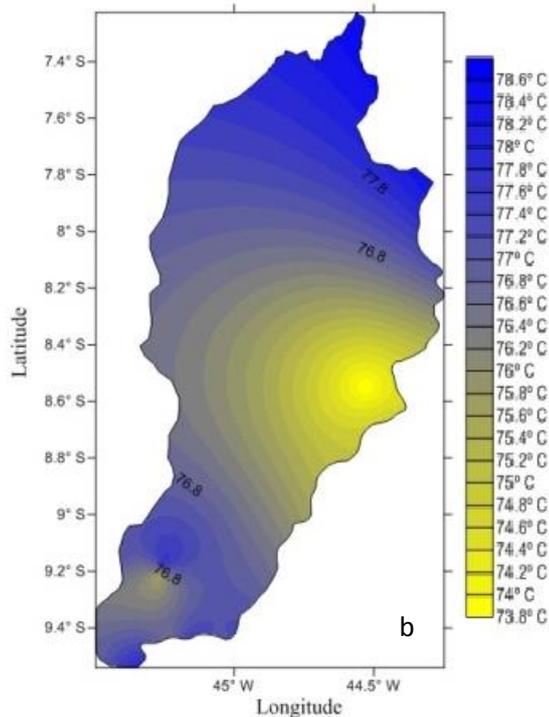


Figura 2b. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990. Fonte: Medeiros (2014).

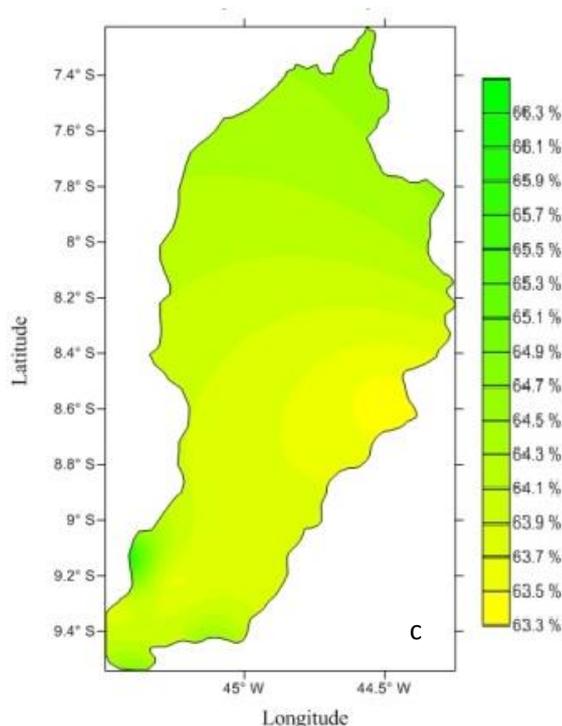


Figura 2c. Variabilidade espacial da umidade relativa do ar anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2c têm-se as flutuações da UR anual para a área da BHRUP; sua variabilidade encontra-se entre 63,3% a 66,2%, observando-se que as maiores contrações da UR ocorrem nos setores sudoeste, sudeste e ao norte da região central e em toda área do setor norte; já os menores índices anuais ocorrem no setor sudeste da região central e na parte norte da região sul.

Segundo Baughman e Arens (1996), a umidade do ar é um parâmetro importante para saúde humana, pois valores baixos ou altos da umidade do ar podem ocasionar doenças. Por outro lado, Barbosa (2005) constatou que a vegetação presente nas áreas verdes condicionou a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.

Os valores médios da umidade relativa do ar para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí preto cujo território é composto de 49 postos tem sua flutuação mínima nos meses de julho, agosto, setembro e outubro com valores oscilando entre 41% a 49%. Nos meses de novembro a maio a umidade relativa do ar para a área territorial tem uma flutuação entre 58% a 73%.

Tabela 1. Valores das umidades relativa do ar média, máxima e mínima para o território da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Parâmetros/me- ses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	77,5	76,5	73,3	69,6	64,4	60,3	50,8	48,1	48,8	57,4	69	74,8	64,2
Máximo	82	84	81,8	79,4	76,4	65	60,1	60	60	66	74	84	69,2
Mínimo	70	73	65	62	60	57	47	41	42	49	58	66	61,5

Fonte: Medeiros (2014).

Os meses de dezembro a março que corresponde aos meses mais úmidos da região oscilam com valores de 72,6% a 77,7%. A média anual da umidade relativa do ar para o território da bacia hidrográfica é de 64,2%.

Na tabela 1 observa-se que os valores da umidade relativa máxima para a área de estudo fluem entre 60% a 84%, estas flutuações intermunicipais ocorrem devidos às atividades de eventos isolados que acontecem em dias isolados e seguidos de chuvas.

A delimitação do trimestre mais úmido para a área estudada assemelha-se aos regimes observados por Strang (1972) para a precipitação. Tal delimitação caracteriza a ação predominante dos sistemas principais que atuam na geração da estação chuvosa no sul do Estado do Piauí, onde esta localizada a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

## **Conclusões**

Os resultados mostram que é possível fazer-se uma delimitação de regimes climáticos no Estado do Piauí visando à bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e sua área territorial, com base apenas nos valores médios observados e interpolados da umidade relativa do ar.

O estabelecimento dos regimes mais úmido é importante para estudos de previsão do tempo e principalmente para o planejamento agropecuário, contribuindo para informações ao homem do campo na hora do preparo das terras para o plantio, evitando desta forma que ele plante em época não adequada, evitem desperdiço e prejuízos, e ainda tenha as condições adequadas para lucratividade e rendimentos agrícolas. Além do controle de doenças e pragas das plantas cultivadas; No planejamento urbano visa eventos extremos de enchentes, alagamento, inundações, transbordamentos de lagos e lagoas.

Tais delimitações dos trimestres mais úmidos e as informações das épocas de menores umidades relativas do ar serviram de alerta as autoridades federais, estaduais e municipais além dos tomadores de decisões, para um melhor planejamento.

Ressalta-se que para o planejamento agrícola deve-se levar em consideração o ciclo da cultura e a época em que a ocorrência da umidade relativa estejam nos períodos de máxima.

A partir dos dados verificou-se, também, que a umidade relativa do ar está diminuindo ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado ao aumento da temperatura e, conseqüentemente com uma evaporação maior das águas.

Os cenários de umidade relativa do ar para a área em estudo apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local e em termos médios, predominam as classes de ocorrência de 60% a 80% nos meses de novembro a maio.

## FLUTUABILIDADE DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR ANUAL E DE SEUS QUADRIMESTRES MÍNIMOS E MÁXIMOS

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Brbosa de Brito

### Introdução

Hoje em dia há muita discussão sobre a variação da temperatura do ar, em todo o mundo, como possível aumento do efeito estufa provocado por ações antropogênicas. Praticamente todos os dados, no mundo até algumas décadas atrás foram obtidas por meios convencionais e poucas estações operam horário contínuo, durante as 24 horas do dia. Daí a necessidade de se fazerem os cálculos das temperaturas médias, utilizando apenas algumas informações durante o dia.

As temperaturas apresentam uma variação inversa com o aumento da altitude, pelo fato de ocorrer uma descompressão adiabática à medida que o ar se eleva na atmosfera, que lhe causa um resfriamento de  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100$  metros, em termos médios.

Em escala macrorregional a área em estudo se situa entre o semiárido do sertão nordestino e a floresta tropical chuvosa da Amazônia. Colocando-se, portanto entre dois “projetos” distintos de ocupação representados, do lado nordestino, pela pecuária extensiva e, do lado amazônico, pelo projeto baseado em pequenos aldeamentos ribeirinhos isolados, em meio à rarefação da economia natural do extrativismo.

A temperatura mais favorável, segundo algumas pesquisas, às pessoas engajadas em trabalhos ativo, fora ou dentro do ambiente confinado, é de cerca de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , embora possa haver pequenas diferenças individuais. Maior trabalho seria executado, com menor fadiga em torno dessa temperatura.

O frio e o calor persistentes são depressivos. A duração de temperatura extrema é significativa, um dia quente de verão pode ser suportável, porém a cada dia quente que se sucede, a produção de trabalho decresce, a vitalidade diminui, e o número de mortes aumenta entre aqueles cujos corpos não se adaptam rapidamente às novas condições, seja para o calor ou para o frio.

As estatísticas revelam que a proporção de mortes é mínima quando a temperatura média diária fica entre  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Algumas doenças são diretamente limitada pela temperatura, são elas: a malária, a febre amarela e outras doenças causadas por insetos que não resistem ao clima frio.

Os climas tropicais quentes e úmidos, como o nosso, parece ser o mais desfavoráveis, e o homem branco não pode viver por muito tempo em tais climas sem que sofra desgaste de energia e de sua resistência às doenças.

As mesmas condições nunca são ideais para todas as pessoas e todos os estados de saúde. De um modo geral, o clima “ideal” pode ser assim definido: temperatura médias diárias de cerca de  $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , variação moderada de dia para a noite, e variação de dia para dia, afim de evitar a monotonia. A umidade relativa do ar deverá ser continuamente moderada 60%. O movimento do ar deverá apresentar-se de moderado a brusco e ainda deve ter-se bastante luz solar sem que o ar mantenha monotonamente sua nebulosidade e aridez.

Em resumo as condições mais consideráveis para ter-se uma variação da temperatura média confortável seria a diminuição da incidência direta dos raios solares, um aumento significativo da velocidade do vento e a troca de calor com maior intensidade pelo processo adiabático

As variações que o tempo sofre no dia-a-dia, fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas cujas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos, ligados aos problemas possíveis de afetar a qualidade do ar, a disponibilidade de água potável e qualidade e a quantidade de alimentos disponíveis; neste sentido, pode haver aumento da vulnerabilidade humana, influenciada pelas características climáticas locais devido aos efeitos diretos e indiretos em que estão expostos de acordo com Campos (2009).

A temperatura do ar se destaca entre as variáveis atmosféricas mais utilizadas no desenvolvimento de estudos de impactos ambientais com mudanças nos processos meteorológicos e hidrológicos de acordo com Nogueira et al. (2012) e Correia et al. (2011). A temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois traduz os estados energéticos e dinâmicos da atmosfera e conseqüentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos conforme Dantas et al. (2000).

Alterações nos padrões de temperatura e precipitação acarretam, necessariamente, em mudanças de composição e localização de biomas, além de mudanças nas práticas agrícolas. Por outro lado, essas alterações de uso da terra promovem alterações de ciclos de nutrientes, água e calor, segundo Nobre et al. (2007).

Folhes et al. (2006) apresentaram os valores médios e extremos de temperatura do ar e precipitação, o que estabeleceu uma possível caracterização do início e do fim da estação chuvosa nesta região e procedeu a uma avaliação da série temporal dos elementos climáticos a fim de subsidiar as questões sobre mudanças climáticas na região.

De acordo com Sediya et al. (1998), na grande parte do território nacional a escassez de dados meteorológicos é um dos fatores que mais limitam a realização de estudos suficientemente detalhados sobre os tipos climáticos de diversas regiões, principalmente quando as mesmas apresentam ampla extensão territorial. Em todo o Nordeste brasileiro e no território paraibano, as variações de temperatura do ar dependem mais de condições topográficas locais do que daquelas decorrentes de variações latitudinais de conformidade com Sales e Ramos (2000).

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de toda e qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano conforme Soriano (1997). Neste contexto a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (1989) estabelece que para estudos comparativos de clima, sejam calculadas médias climatológicas para períodos mais longos possíveis e que existam nos dados consistência e homogeneidade na comparação dos valores observados, e, além disso, é necessário utilizar-se de um período determinado entre as mesmas séries. No entanto, períodos mais curtos de observações, desde que feitas para anos sucessivos, prestam-se para avaliar o comportamento do clima de acordo com Costa (1994) e Conti (2000).

A caracterização climática da região Nordeste é um pouco complexa; segundo Silva et al., (2008), constitui domínio dos climas quentes de baixas latitudes, apresentando temperaturas médias anuais sempre superiores a 18 °C, verificando-se desde territórios mais secos no interior até mais úmidos, na costa leste da região.

A temperatura do ar expressa, de maneira simples, a energia contida no meio. No decorrer de um dia à energia a disposição do ambiente, oscila entre dois valores extremos, ou seja, entre a temperatura mínima e a máxima. Como essa energia vai de um extremo ao outro, ela atua no estímulo contínuo aos processos fisiológicos vitais nos seres vivos, a exemplo do desen-

volvimento e do crescimento das espécies vegetais, como: transpiração, respiração, germinação, crescimento, floração e frutificação. Em cada estágio de desenvolvimento da planta existem faixas adequadas de temperatura para seu perfeito desenvolvimento de acordo com Costa et. al. (2011).

De maneira geral, a temperatura afeta a maioria dos processos fisiológicos das plantas e, em contrapartida a produtividade também é afetada, visto que existem limites ótimos para o crescimento e desenvolvimento adequados de cada espécie, Assis (2004) e Campos (2010).

É constatado o aumento da temperatura nos centros urbanos, ocasionado pela maneira com que estes são construídos, sem um planejamento adequado, principalmente em relação ao aproveitamento dos próprios recursos naturais para propiciar conforto térmico nas cidades (Almeida, 2005). O conforto ambiental é um dos fatores climáticos que interferem na qualidade de vida das pessoas.

O trabalho objetiva a elaboração de mapas e/ou carta de média anual e dos quadrimestres mínimos e máximos estimada pela média histórica do período de 1960-1990 para os 49 locais que compreende a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

## **Materiais e métodos**

De acordo com Sedyama et al. (1998), na grande parte do território nacional a escassez de dados meteorológicos é um dos fatores que mais limitam a realização de estudos suficientemente detalhados sobre os tipos climáticos de diversas regiões, principalmente quando as mesmas apresentam ampla extensão territorial.

Apesar de sua extensão territorial, o estado do Piauí conta com um número reduzido de estações meteorológicas que medem e/ou registram dados de temperatura; para suprir esta limitação, e a questão do tempo necessário para se obter valores médios representativos, tem sido usada a estimativa desse elemento climático em função das coordenadas geográficas: latitude, longitude e altitude. Verificou-se que a latitude e a longitude têm influência pouco significativa, se comparada com a altitude. Como em todo o Nordeste brasileiro e no território piauiense, as variações de temperatura do ar dependem mais de condições topográficas locais que daquelas decorrentes de variações latitudinais segundo Sales e Ramos (2000).

São de fundamental importância, portanto, as medições da temperatura do ar, em qualquer instante, principalmente naqueles horários recomendados pela Organização Meteorológica Mundial - OMM incluindo, neste caso, as temperaturas do ar máxima e mínima, verificadas no período de 24 horas e na impossibilidade dessas últimas medidas, deve-se recorrer a métodos de estimativas em conformidade com Dantas et al. (2000).

As informações meteorológicas utilizadas neste trabalho, tais quais: temperaturas máxima, mínima e média do ar, amplitude térmica, umidade relativa do ar, intensidade do vento, evapotranspiração, evaporação, nebulosidade, insolação total e índices pluviométricos, foram obtidos do Estudo Agrometeorológico do estado do Piauí por Medeiros (2014).

Os dados de temperaturas máximas; mínimas e médias foram estimados (por não existir estação meteorológica) pelo software Estima\_T (Cavalcanti e Silva 1994, 2006) estando disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm>.

Calculou-se a amplitude térmica pela diferença entre as temperaturas máximas e mínimas após serem geradas pelo software Estima\_T.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar é uma superfície quadrática, dada por:

$$T = C_0 + C_1 \lambda + C_2 \varnothing + C_3 h + C_4 \lambda^2 + C_5 \varnothing^2 + C_6 h^2 + C_7 \lambda \varnothing + C_8 \lambda h + C_9 \varnothing h + ATSM_{ij}$$

Onde:

$C_0, C_1, \dots, C_9$  são as constantes;  
 $\lambda, \lambda^2, \lambda \emptyset, \lambda h$  longitude;  
 $\emptyset, \emptyset^2, \lambda \emptyset$  latitude;  
 $h, h^2, \lambda h, \emptyset h$  altura.

Os índices  $i$  e  $j$  indicam, respectivamente, o mês e o ano para os quais se está calculando a temperatura do ar ( $T_{ij}$ ). Assim, o sinal das Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (ATSM),  $ATSM_{ij}$  assume valores positivos e negativos, de acordo com o padrão de comportamento de TSM do oceano. Cavalcanti e Silva (1994) também utilizaram uma superfície quadrática para determinar as temperaturas médias e extremas no NEB e, expressa, porém, apenas em função das coordenadas geográficas.

Pode-se, estimar a série temporal de temperatura, adicionando-lhe a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical, Silva et al.,(2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

onde

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$

$j = 1960, 1961, 1962, \dots, 1990$

O Estima\_T é um software para fazer estimativas de temperaturas do ar na região NEB. A região foi dividida em três áreas: 1 - Maranhão e Piauí; 2 - Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco e 3 - Alagoas; Sergipe e Bahia. Para cada uma das regiões se determinaram os coeficientes da função quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude (Cavalcanti et al. 2006).

Após os cálculos das estimativas das temperaturas máximas, mínimas e médias entre o período de 1960 a 1990 realizou-se um corte na respectiva série e se retirou o período de 1960 a 1990 com 30 anos de estimativas para os quarenta e nove locais que compõem a bacia da área em estudo. A precisão baseada nos valores e na significância dos coeficientes de determinação, avaliados pelo teste "F" e, testados pelo teste "T" de Student, considerando um nível aceitável de até 5% de probabilidade, foi o critério adotado para aceitação do método escolhido.

A temperatura máxima anual é de 32,1 °C, sua mínima anual é de 20 °C e a temperatura média anual de 26,1 °C. Utilizou-se da Classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen (1928), onde se distinguem dois tipos climáticos na área de estudo, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco (Medeiros, 2013).

## Resultados e discussão

Na Figura 1 observa-se a distribuição temporal da temperatura do ar médio anual para a área de estudo, onde suas oscilações ocorrem na faixa dos 25 °C a 27 °C, nas regiões sul e parte da região central observam-se as menores flutuações do referido parâmetro ao passo que no norte da região central em toda a região norte centram-se as mais elevadas temperaturas mínimas anuais, tal elevação deve-se aos fatores atuantes na atmosfera como alta intensidade dos raios solares, e baixa cobertura de nuvens, flutuações irregulares da umidade relativa do ar e a oscilação da pressão atmosférica.

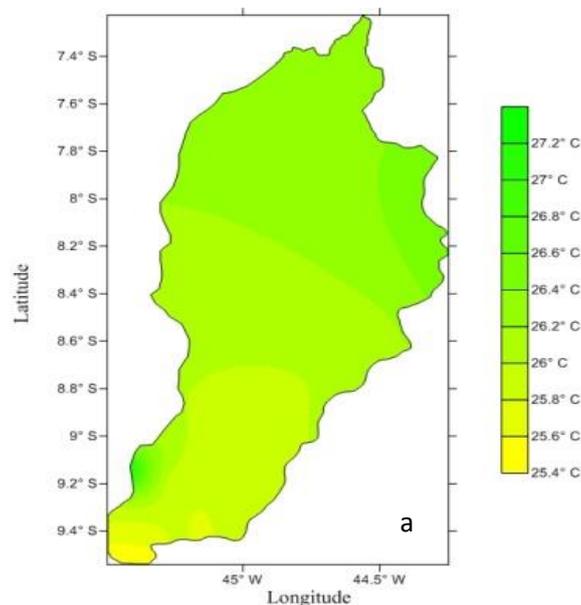


Figura 1a. Temperatura (°C) média anual dos 49 locais que compõem a BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 1a, 1b representa o quadrimestre da mínima e máxima temperatura do ar para a área da BHRUP.

Na Figura 1a observam-se as oscilações das temperaturas médias para o quadrimestre das médias mínimas ocorridas entre o período de 1960-1990. A região sul e norte da central tem-se a menor temperatura média logo em seguida ver-se um aumento gradual do setor central para o norte. As altas temperaturas médias se localizam no nordeste e na posição sudoeste da bacia.

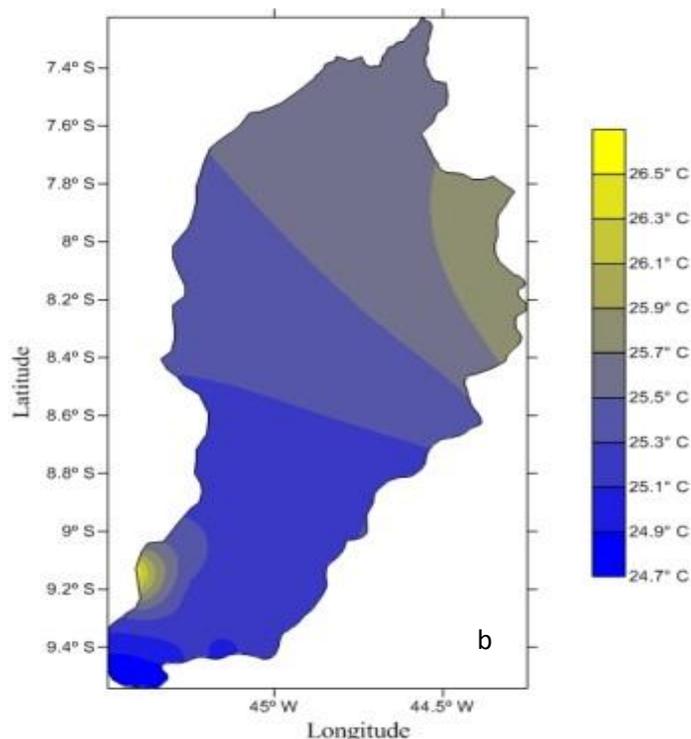


Figura 1b. Quadrimestres mínima da temperatura do ar para a área da BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

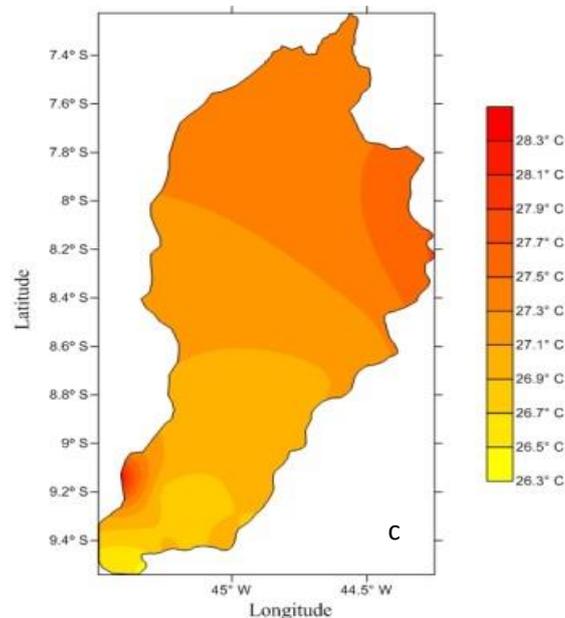


Figura 1c. Quadrimestres máxima da temperatura do ar para a área da BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

As variabilidades da temperatura média da máxima para o quadrimestre da média máxima pode ser observada na Figura 1b, destacamos as áreas no setor sudoeste e nordeste como as mais elevadas e no extremo sul áreas com menores valores do referido parâmetro, a região central enquadra-se entre a área de temperatura média moderadas e a região norte como a de alta temperatura.

## Conclusões

A elevação e a latitude são as variáveis fisiográficas que explicam melhor a variação da temperatura do ar anual e dos quadrimestres de mínimo e máximo na área de estudo.

As flutuações da temperatura média decorrem dos sistemas sinóticos atuantes na época do período chuvoso e do período seco tal como dos impactos no meio ambiente e estas flutuações podem estarem relacionadas com os fatores provocadores e/ou inibidores dos índices pluviométricos intermunicipais.

Estas variabilidades de flutuações de temperatura do ar máxima acrescida e os incrementos nos índices pluviométricos podem estar correlacionados com as mudanças locais (crescimento vertical, cobertura asfáltica, redução da arborização, baixa umidade do solo, queimadas).

A temperatura média do ar diminui com a altitude. Na região tropical esse efeito é bastante acentuado e contribui significativamente para a melhoria do conforto ambiental, perceptível nas serras. Por isso é costume dizer que nos trópicos, a altitude compensa a latitude.

Em geral, as maiores médias da temperatura do ar à superfície acontecem no verão e as menores no inverno.

Verificam-se valores anuais que variam de 28,9 °C (Alto Parnaíba) a 24,9 °C (Gilbués), sendo que este último extremo passa a ser influenciado pela altitude. Na distribuição espacial, passa a predominar o relevo, fazendo com que as temperaturas maiores correspondam às partes mais baixas.

### CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Brbosa de Brito

#### Introdução

Os seres vivos que povoam o planeta vivem adaptados a energia do ambiente. Além de variação diária, a temperatura varia também ao longo do ano, conforme a disposição da terra a radiação solar. Assim, ver que a temperatura do ar tem um efeito claro no desenvolvimento dos seres vivos.

Do ponto de vista agrônomo, a temperatura é de vital importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, assim como para a produção. Muitos processos fisiológicos nas plantas superiores ocorrem entre temperaturas de 0 a 40 °C. Portanto, existe uma ampla faixa de temperaturas para o crescimento, ainda que algumas culturas sejam adaptadas a relativamente baixas, moderadas ou até altas temperaturas. O melhoramento genético tem ampliado esta faixa nas últimas décadas. Se aceita que cada cultivar possui temperaturas – limite (superior e inferior) bem definido.

Uma vez que a temperatura requerida por uma espécie seja conhecida, a escolha de uma área favorável pode ser feita, uma vez que médias de períodos longos de variação anual e diurna da temperatura são frequentemente disponíveis em quase todas as partes do mundo.

As variações que o tempo sofre no dia-a-dia fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas, e essas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos que estão ligados aos problemas que podem vir a afetar a qualidade do ar, a disponibilidade de água potável e qualidade e quantidade de alimentos disponíveis. Nesse sentido, pode haver um aumento da vulnerabilidade humana que são influenciadas pelas características climáticas locais, devido a esses efeitos diretos e indiretos em que estão expostos, em conformidade com Campos (2009).

A superfície do solo, com ou sem vegetação, é o principal receptor de radiação solar e da radiação atmosférica, sendo também emissor de radiação. Seu balanço de radiação, variável no decorrer do dia e do ano, promove variações diárias e anuais na temperatura do solo e do ar.

As variações diárias do balanço de radiação da superfície do solo ocorrem em função da trajetória diária do sol acima do horizonte, enquanto as variações estacionais, em função da variação da declinação do sol ao longo do ano.

A temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois a mesma traduz os estados energéticos e dinâmicos da atmosfera e conseqüentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos, de acordo com Dantas et al., (2000).

A temperatura do ar expressa de maneira simples a energia contida no meio. No decorrer de um dia a energia a disposição do ambiente oscila entre dois valores extremos, ou seja, entre a temperatura mínima e a máxima. Como essa energia vai de um extremo ao outro, ela atua em processos de continuo estímulo aos processos fisiológicos vitais nos seres vivos, tais como sobre o desenvolvimento e crescimento das espécies vegetais, como: transpiração, respiração, germinação, crescimento, floração e frutificação. Em cada estágio de desenvolvimento da

planta existem faixas adequadas de temperaturas para seu perfeito desenvolvimento segundo Costa et. al. (2011).

Para Varejão (2000) a temperatura média do ar à superfície, reflete de certa forma, a disponibilidade de energia às plantas e isto tem incentivado vários estudiosos a investigar sua relação com a rapidez com que se completa o ciclo vegetativo de culturas.

As variações que o tempo sofre no dia-a-dia fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas, e essas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos que estão ligados aos problemas que podem vir a afetar a qualidade do ar, a disponibilidade de água potável e qualidade e quantidade de alimentos disponíveis. Nesse sentido, pode haver um aumento da vulnerabilidade humana que são influenciadas pelas características climáticas locais, devido a esses efeitos diretos e indiretos em que estão expostos de acordo com Campos (2009).

O objetivo deste trabalho é demonstrar que os elementos meteorológicos estudados tais como: temperatura média do ar e suas flutuações de máximo e mínimo, amplitude térmica, umidade relativa do ar e precipitação pluvial têm suas contribuições para a variabilidade climática e suas oscilações visando mudanças climáticas. trazendo benefício significativo quando aplicado a setores, principalmente, como agropecuária, irrigação, hidrologia e ao turismo, pois favorece a escolha de culturas e variedades agrícolas e pecuárias mais adaptadas regionalmente.

## **Materiais e métodos**

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP), foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 2013) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo. Com representação da precipitação (mm): mínima; máxima; quadrimestre chuvoso; quadrimestre seco e anual.

Na metodologia elaborada os valores da amplitude térmica amplitude térmica (°C): fria; quente; quadrimestre frio; quadrimestre quente e anual. foram estimados pelo software *Estima\_T* (Cavalcanti et al., 1994, 2006) estando disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande disponível em <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm>.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar é uma superfície quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude de conformidade com os autores Cavalcanti e Silva (2006) dada por:

$$T = C_0 + C_1 \lambda + C_2 \varnothing + C_3 h + C_4 \lambda^2 + C_5 \varnothing^2 + C_6 h^2 + C_7 \lambda \varnothing + C_8 \lambda h + C_9 \varnothing h + ATSM_{ij}$$

Onde:

$C_0, C_1, \dots, C_9$  são as constantes;

$\lambda, \lambda^2, \lambda \varnothing, \lambda h$  longitude;

$\varnothing, \varnothing^2, \lambda \varnothing$  latitude;

$h, h^2, \lambda h, \varnothing h$  altura.

Também se pode estimar a série temporal de temperatura, adicionando a esta a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical de acordo com Silva et al. (2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

Onde:

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ;

$j = 1960, 1961, 1962, 1963, \dots, 1990$ .

Para o cálculo da amplitude térmica utilizou-se dos valores gerados da temperatura máxima e mínima através da estimada do software Estima\_T. (A amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e mínima).

Utilizou-se dos dados diários de umidade relativa do ar convencional e interpolados das estações que operam no estado. Foram escolhidas as estações com 10 ou mais anos de observações. Tal critério foi adotado por se considerar a umidade do ar de pouca variabilidade comparada à precipitação; a partir desses critérios interpolaram os referidos dados para os municípios circunvizinhos, levando-se em considerações a distância dos pontos originais.

Elaborou-se uma planilha eletrônica com os dados obtidos com o Estima\_T, e após calculado as médias anuais e dos quadrimestre mínimos e máximos de temperatura do ar, utilizou-se do software Surfer 9.0 para confecciona-se os mapas anual e os do quadrimestre mínimos e máximos das médias, e todos recortados utilizando-se o limite do Estado do Piauí (IBGE, 2009).

Utilizou-se da Classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen (1928), onde se distinguem dois tipos climáticos na área de estudo, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco de acordo com Medeiros (2013).

## Resultados e discussão

### Temperatura

Na Figura 1 observa-se distribuição mensal da temperatura média da média; média da máxima e média da mínima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

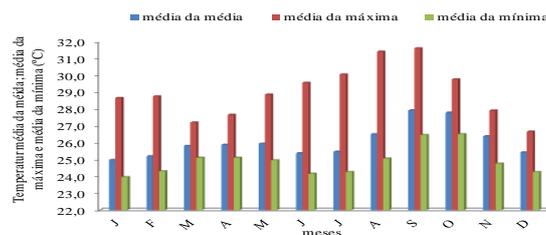


Figura 1. Distribuição mensal da temperatura média da média; média da máxima e média da mínima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Fonte: Medeiros (2014).

Não foram observadas grandes variações nas médias da média; média da máxima e média da mínima mensais e, principalmente, na temperatura média anual ao longo da série (Figura 2). As variações diurnas da temperatura nas latitudes baixas são mais dominantes do que as variações sazonais (Ayoade, 1983).

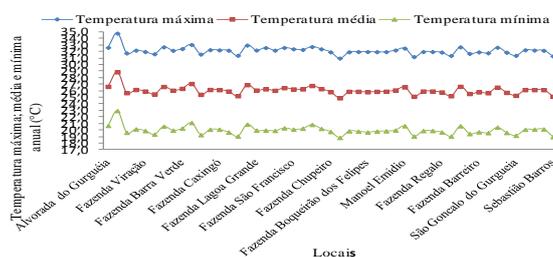


Figura 2. Variabilidade interanual e municipal da temperatura: máxima; média e mínima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Fonte: Medeiros (2014).

O comportamento da temperatura média anual ao longo do período estudado apresentou ligeiro decréscimo de aproximadamente 0,4 °C ao ano, denotando uma tendência de resfriamento mostrada na Figura. 3. O coeficiente de regressão foi  $R^2 = 0,1256$ .

As oscilações interanual de temperaturas médias são importantes em situação mais ampla com a sua amplitude térmica anual, quase sempre inferior a 3°C. Destaca-se que as temperaturas mais altas da primavera tornam-se significativas, visto que nesta época do ano apresenta baixo índice de chuvas deixando o solo e a vegetação mais susceptíveis à falta da água, intensificando os índices evaporativos.

A redução dos valores térmicos ocorre nos meses de verão, associada ao aumento da precipitação, embora não seja muito significativa. Durante o inverno, a temperatura máxima inicia ligeiro aumento até a primavera, quando aproximar-se ou ultrapassar os 38°C, mesmo registrando mínimas relativamente muito baixas, devido a maior penetração de massas de ar polar em transição para a tropical.

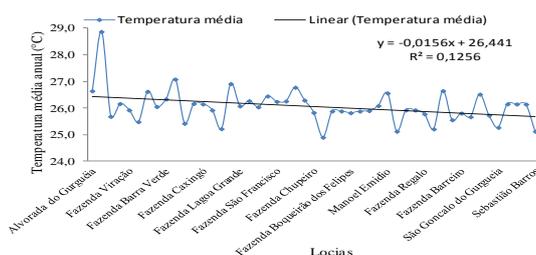


Figura 3. Temperatura média anual e tendência da temperatura para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Fonte: Medeiros (2014).

A Tabela 1. Representa os valores mensais de temperatura média do ar em (°C); desvio padrão, coeficiente de variação, média mínima; média máxima e amplitude média, para a área da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto.

Tabela 1. Valores mensais de temperatura média do ar (TM) em (°C); desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), temperatura: média mínima (MMim); média máxima (MMax) e amplitude média (AMP) para a área da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
TM	25	25,2	25,8	25,9	25,9	25,4	25,5	26,5	27,9	27,8	26,4	25,4	26,1
DP	0,722	0,627	0,364	0,420	0,578	0,803	0,856	0,943	0,790	0,594	0,683	0,565	0,630
CV	0,029	0,025	0,014	0,016	0,022	0,032	0,034	0,036	0,028	0,021	0,026	0,022	0,024
MMim	24	24,3	25,1	25,1	25	24,2	24,3	25,1	26,5	26,5	24,8	24,3	24,9
MMax	28,7	28,8	27,2	27,2	28,9	29,6	30,1	31,4	31,6	29,8	27,9	26,7	28,9
AMPL	9,6	9,1	10,9	10,6	11,9	13,6	14,6	15,6	14,8	13,3	11,5	10,4	12,2

Fonte: Medeiros (2014).

### Amplitude térmica

A Figura 4 (a, b, c, d, e) representam a amplitude térmica (a) mês frio; (b) mês quente; (c) quadrimestre frio (d) quadrimestre quente; (e) e anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Na Figura 4a tem-se a amplitude térmica do mês frio (janeiro) para a área da BHRUP, observa-se que na parte oeste e no extremo sudoeste predominam a área das menores amplitudes, a faixa de amplitudes média predominante ocorre em toda área (região norte, central e sul) com sua flutuação oscilando entre 9,58 °C a 9,78 °C, também foi observado pequena área de amplitude térmica superior a 9,78 °C no setor leste da área de estudo.

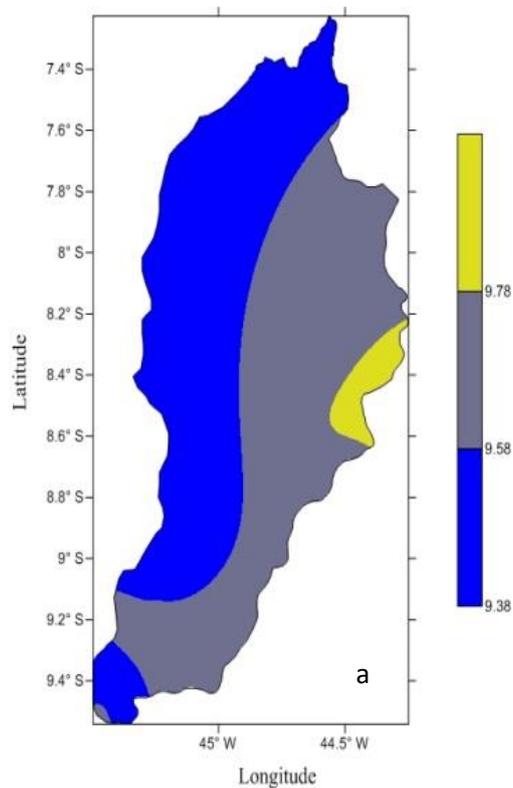


Figura 4a. Amplitude térmica (°C) mês frio, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

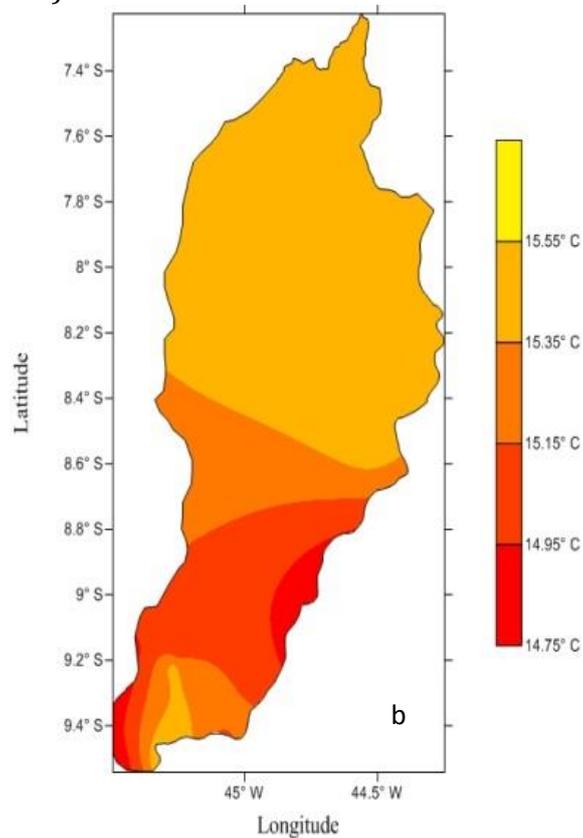


Figura 4b. Amplitude térmica (°C) mês quente para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 4b representa a amplitude térmica do mês quente (setembro) para a área da BHRUP, observa-se uma pequena faixa de amplitude térmica no extremo sul da área de estudo

superior a 15 °C, pequena área nos setores sudeste e sudoeste como amplitude variando entre 14,7 °C a 15,2 °C e parte da região sul, parte da região central com amplitude térmica oscilando entre 14,5 °C a 15,2 °C, a amplitude térmica predominante na parte central e em toda área norte é de 15,3 °C.

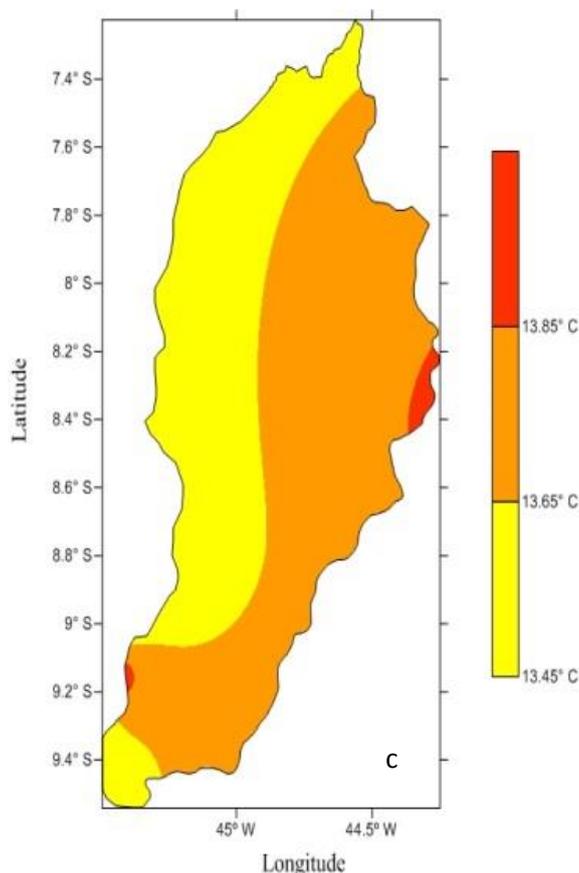


Figura 4c. Amplitude térmica (°C): quadrimestre frio, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4c tem-se o comportamento térmico do quadrimestre frio (dezembro a março) a qual segue as características da Figura 1a.

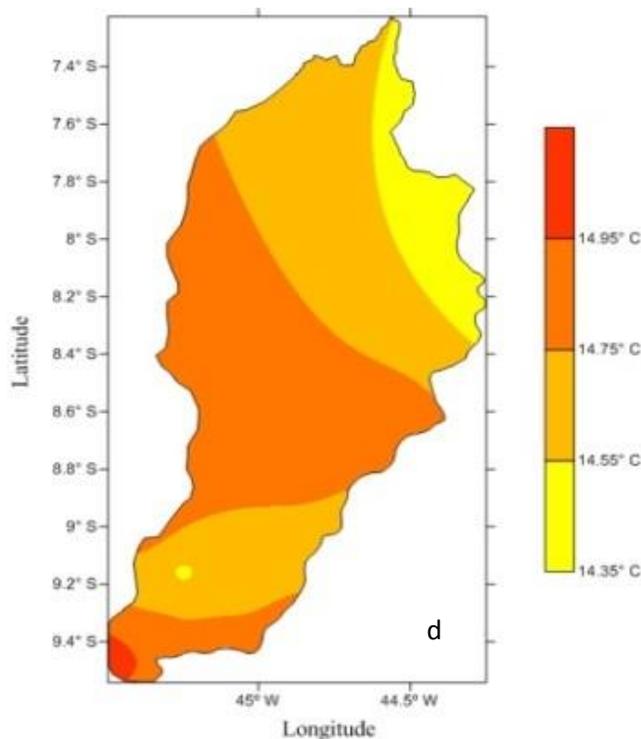


Figura 4d. Amplitude térmica (°C) quadrimestre quente, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 4d demonstra o comportamento da variabilidade da amplitude térmica para o quadrimestre quente (junho a setembro), observa-se uma pequena área de máxima amplitude no extremo sudoeste e uma área de mínima amplitude no setor norte e nordeste, além de uma pequena área junto ao município de Gilbués. Nas regiões Sul, central e Norte destaca-se variabilidade da amplitude térmica oscilando entre 14,3 °C a 14,7 °C.

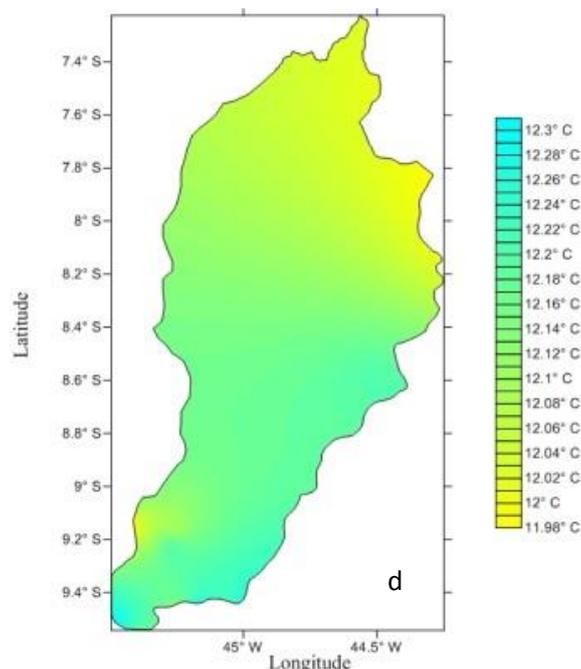


Figura 4e. Amplitude térmica (°C) anual para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4e observa-se um aumento no sentido norte sul, destaca-se que as áreas de menores amplitudes localizam-se na parte norte e nordeste e uma pequena faixa a sudoeste, na

região central, sul e parte do sul da região norte ver-se a variabilidade da amplitude térmica flutuando entre 12 °C a 12,3 °C nota-se que na faixa de sudoeste a sudoeste esta caracterizada pelas maiores amplitudes térmicas anuais.

## Precipitação

A figura 5 (a, b, c, d, e) representam a variabilidade da precipitação pluvial (a) máxima; (b) mínima; (c) quadrimestre chuvoso; (d) quadrimestre seco; (e) e anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Na Figura 5a destaca-se a área sul no seu centro que registrou as maiores intensidades das chuvas, já nos setores sudoeste e sudeste ocorreram os menores índices pluviométricos, ao passo que nas demais áreas da bacia os índices pluviométricos são insignificantes para agropecuária e armazenamento de água.

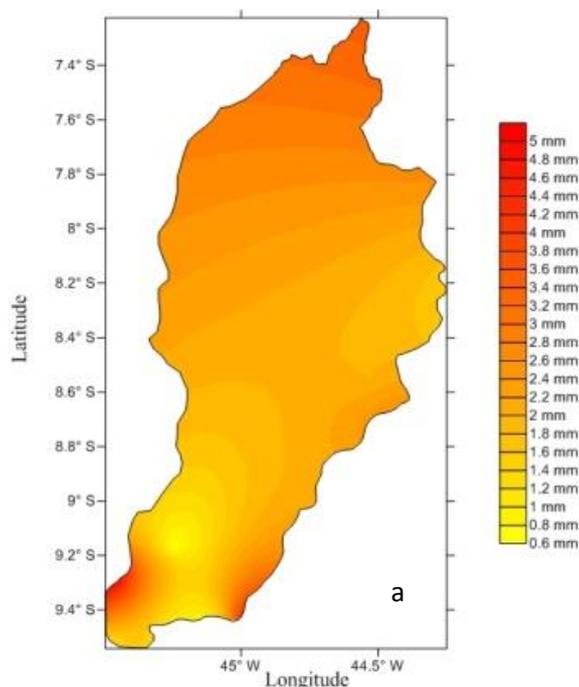


Figura 5a. Precipitação (mm) mínima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 5b representa as chuvas máximas ocorridas no BHRUP, observa-se que as chuvas ocorrem no sentido leste – oeste e seus valores máximos ocorrem no extremo sudoeste e na área costeira da bacia.

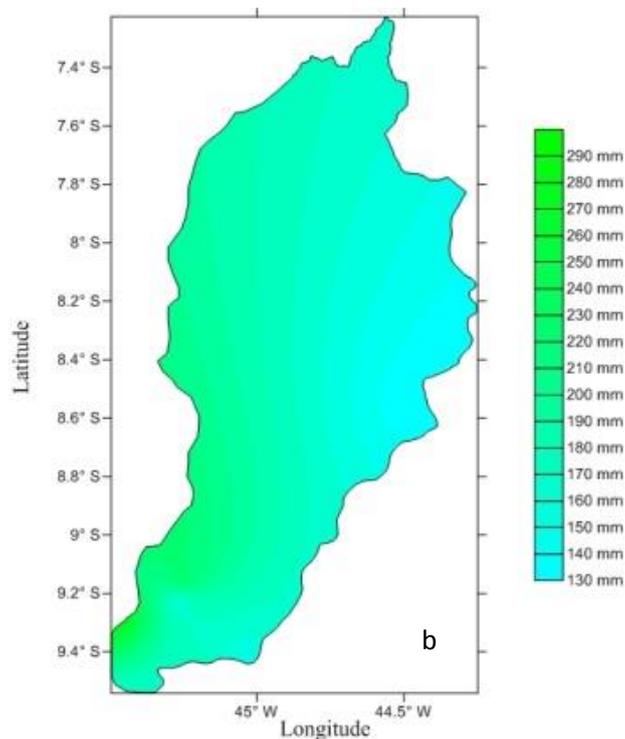


Figura 5b. Precipitação (mm) máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 5c tem-se o comportamento do quadrimestre seco na qual se destaca os maiores índices pluviométricos na região sul e a sua redução gradativa até a região norte onde se observa os menores índices pluviométricos.

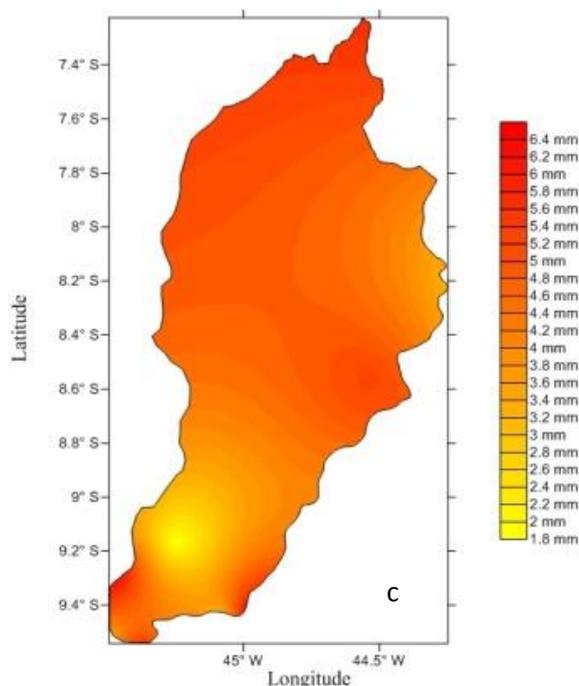


Figura 5c. Precipitação (mm) quadrimestre chuvoso, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 5d destacar-se que a ocorrência das chuvas para o quadrimestre seco ocorrem com maiores significâncias na parte central da bacia para o sentido oeste, no setor este até a

metade da bacia concentram-se os menores índices pluviométricos, estas chuvas são de baixas magnitudes e de curto intervalo de tempo.

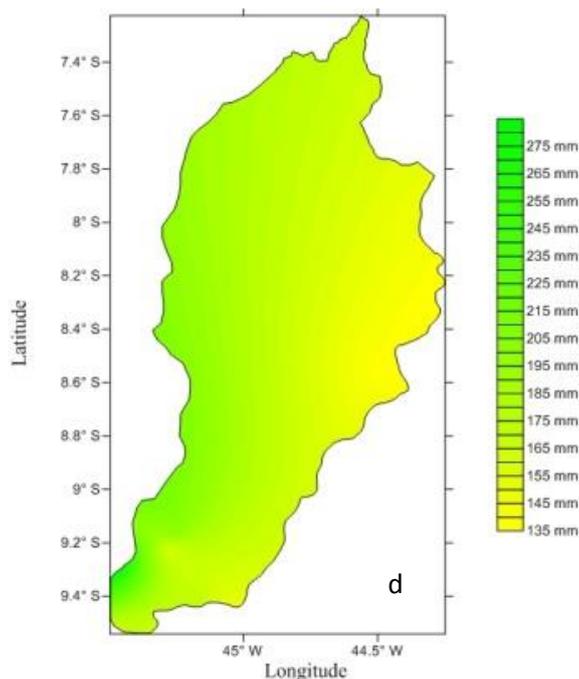


Figura 5d. Precipitação (mm) quadrimestre seco, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 5e tem-se o comportamento da distribuição da precipitação anual na área da BHRUP, os quais destacaram um acréscimo no sentido leste oeste, observa-se área de máxima pluviometria na altura do município de Santa Filomena e contornando a área costeira oeste da referida bacia, a pluviosidade ainda é predominante no setor oeste das áreas sul, central e sul da região norte. A leste da bacia tem-se área com baixos índices pluviométricos e destacam-se suas flutuações de acréscimo para o centro da referida bacia.

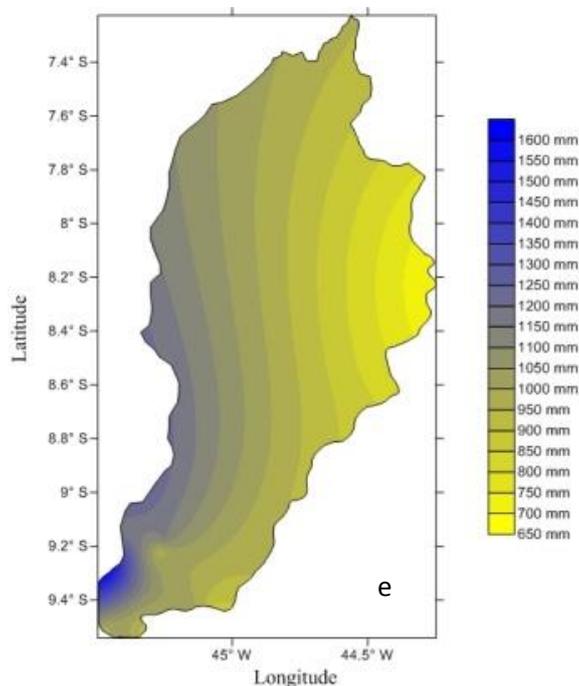


Figura 5e. Precipitação (mm) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

## Umidade relativa do ar

A figura 6 (a, b, c, d, e) representam a variabilidade da umidade relativa do ar (a) mínima; (b) máxima; (c) quadrimestre mínima; (d) quadrimestre máxima; (e) e anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

A variabilidade da umidade relativa do ar (UR) mínima (setembro) na área da BHRUP está representada na Figura 6a, que tem sua oscilação entre 47,2% a 52,6%, observa-se que seus menores índices concentram-se nas áreas sul e parte da central, nas demais áreas observa-se aumento gradual.

É apresentado na Figura 6b as oscilações da UR máxima (fevereiro), destaca-se a área a leste e os setores norte da região central e sul da região norte assim como uma pequena área no setor sul com as baixas concentrações de UR.

Na Figura 6c observam-se as flutuações da UR no quadrimestre de mínimas umidades verifica-se que na região norte e parte norte da região central e no extremo sul e sudoeste concentram-se os valores de umidades altas e no setor sudeste destaca-se os menores valores da UR para o quadrimestre mínimo.

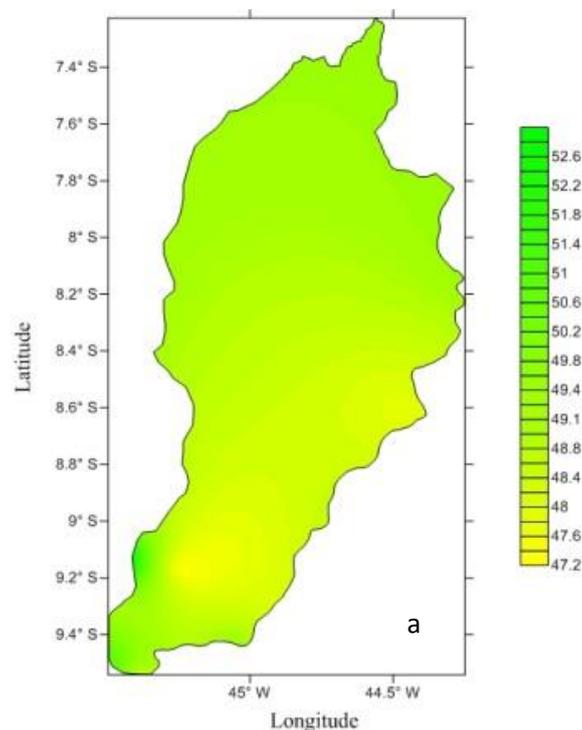


Figura 6a. Umidade relativa do ar (%) mínima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

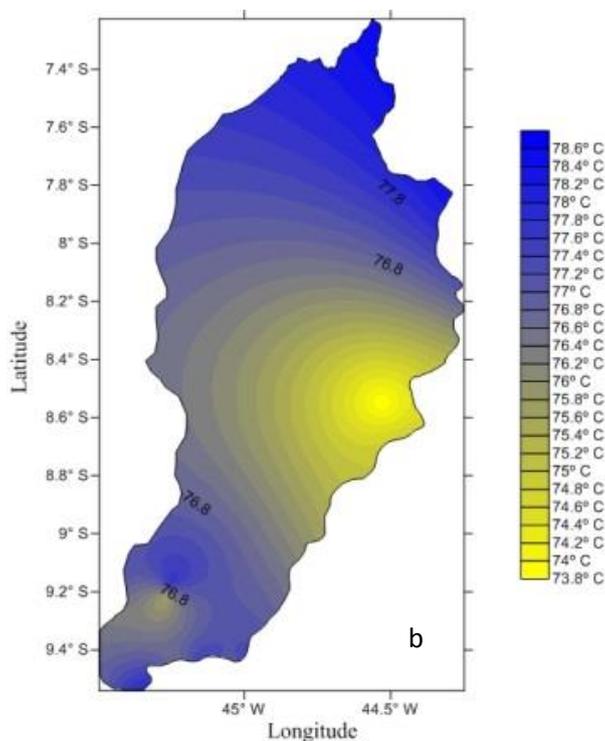


Figura 6b. Umidade relativa do ar (%) máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

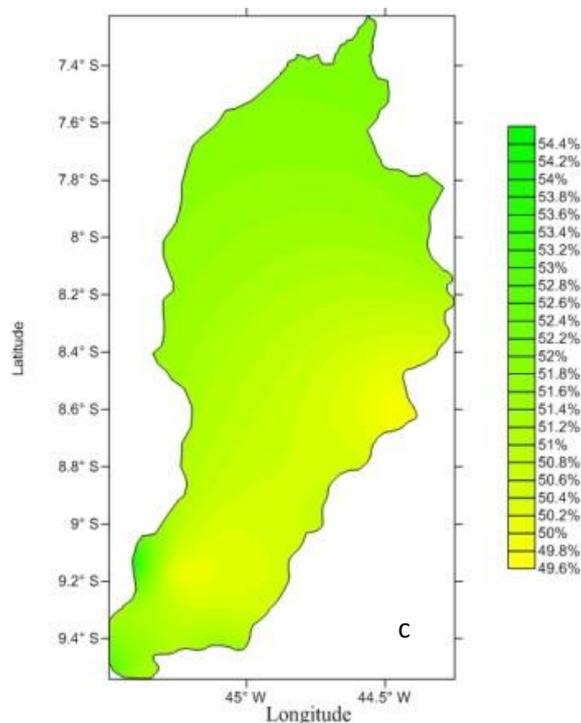


Figura 6c. Umidade relativa do ar (%) quadrimestre mínima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 6d tem a representação do quadrimestre de máxima UR da área em estudo, a região central apresenta a menor concentração de UR assim como uma pequena área no setor sul, no setor norte da área central e em todo o setor norte e em área isoladas do setor sul tem-se os maiores índices de concentração da UR.

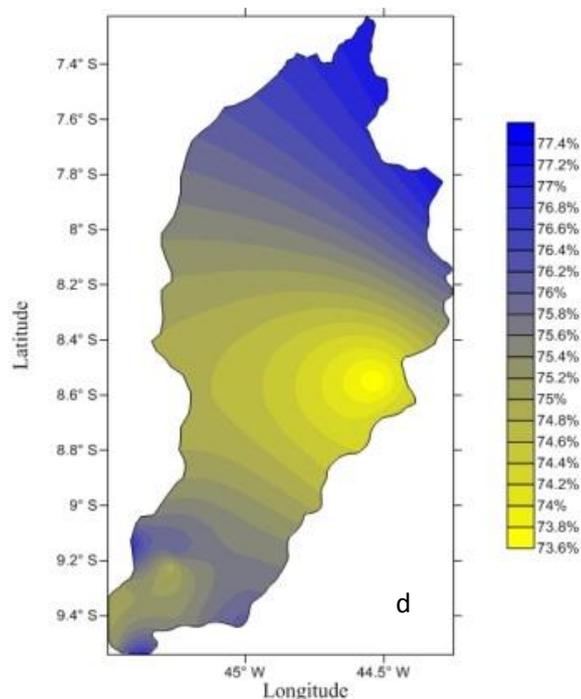


Figura 6d. Umidade relativa do ar (%) quadrimestre máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 6e tem-se as flutuações da UR anual para a área da BHRUP, onde sua variabilidade flui entre 63,3% a 66,2%, observa-se que as maiores concentrações da UR ocorrem nos setores sudoeste, sudeste e ao norte da região central e em toda área do setor norte, já os menores índices anuais ocorrem no setor sudeste da região central e na parte norte da região sul.

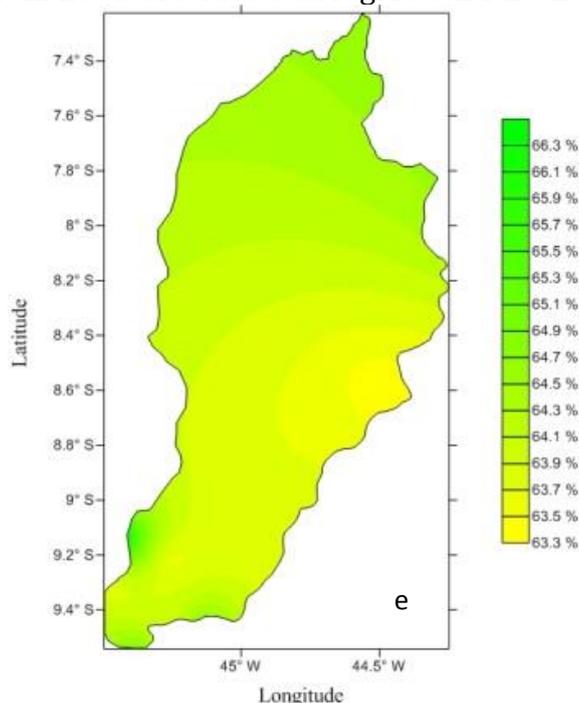


Figura 6e. Umidade relativa do ar (%) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

As temperaturas máxima, média e mínima do ar exibiram baixas flutuações mensais e anuais.

As amplitudes térmicas diárias foram elevadas, variando sazonalmente de 9,1 °C a 15,6 °C, da estação chuvosa para a menos chuvosa.

A tendência de elevação na temperatura média do ar de 0,4 °C pode estar associado aos períodos de baixos índices pluviométricos e correlacionados com as ocorrências dos fenômenos de larga escala El Niño-Oscilação Sul.

Os resultados apresentados indicam possíveis variações climáticas na temperatura do ar, na umidade relativa do ar e na precipitação, apontando para tendência de condições mais quentes e chuvosas.

Observa-se efeito anômalo da distribuição das precipitações durante os veranicos de janeiro. As variabilidades de flutuações de temperatura do ar máxima acrescida, a redução da umidade relativa do ar e os incrementos nos índices pluviométricos, podem estar relacionados com as mudanças locais.

A umidade relativa do ar poderá ser um contribuinte ativo ou passivo da degradação e desertificação do solo, isto porque com outros elementos meteorológicos beneficiando ou desfavorecendo o ressecamento e o desfragmento do solo, ela pode contribuir para o aumento ou redução dos focos de incêndios e da qualidade do ar.

## EROSIVIDADE DA CHUVA VISANDO O DESENVOLVIMENTO DO MANEJO DO SOLO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho

### Introdução

A erosividade das chuvas, definidas como o potencial da chuva em causar erosão no solo, é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais é citado sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Na expectativa de detalhar os estudos desse agente erosivo, pesquisas têm demonstrado que as características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a energia cinética de acordo com Moreti et al. (2003).

A caracterização do fator “R” da equação universal de perda de solo requer o cálculo do índice de erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ), cujo valor é obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima de chuvas acima de 30 minutos ( $EI_{30}$ ).

O conhecimento das características da chuva permite a planificação mais segura de estruturas de conservação de solo (terraços, curvas de nível) e de práticas agrícolas que visem à conservação do solo por meio de manutenção de sua cobertura, assim como outras obras (barragens, canais escoadouros) e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, o que justifica sua determinação (Bazzano et al., 2010).

Além da erosividade outra importante característica da chuva relacionada com o processo de erosão hídrica do solo diz respeito ao seu padrão hidrológico. Horner & Jens (1942) caracterizaram as chuvas em padrões denominados avançados, intermediários e atrasados, quando o pico de maior intensidade da chuva ocorre, respectivamente, no primeiro terço do mês, no segundo terço do mês e no terceiro terço do mês do período de duração total da chuva. No Rio Grande do Sul, Mehl et al. (2001) caracterizaram os padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria concluindo que o padrão avançado é o que ocorre com maior frequência. Além desses autores, Bazzano et al. (2010), Carvalho et al. (2009) e Cassol et al. (2007) também adotaram a mesma metodologia de classificação dos perfis para outras regiões do Brasil.

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em um dado local causar erosão em uma área sem proteção (FAO, 1967) e é em função da quantidade, intensidade e duração da mesma de acordo Lemos e Bahia (1992).

A necessidade de se obter uma metodologia capaz de avaliar os fatores que causam a erosão hídrica e de estimar perdas anuais de solo resultou no desenvolvimento da Equação Universal de Perdas de Solo estimada por Wischmeier (1971) e Smith (1958, 1978). Para sua utilização, é necessário o levantamento de vários fatores, dentre eles a Erosividade das Chuvas (R), que permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações de determinado local.

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em um dado local causar erosão em uma área sem proteção (FAO, 1967) e é em função da quantidade, intensidade e duração da mesma de acordo Lemos e Bahia (1992).

A determinação dos valores da erosividade, ao longo do ano também permite identificar os meses nos quais os riscos de perda de solo são mais elevados, razão por que exerce relevante papel no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo, nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (Dias e Silva, 2003).

Medeiros et al. (2015) avaliaram o balanço hídrico e a erosividade das chuvas em função do cenário de mudanças climáticas para o município de Cabaceiras-PB. Utilizaram-se dados mensais e anuais de precipitação referente ao período de 1926-2010 e a série de temperatura

estimada para o período de 1950 a 2010. Utilizaram-se da metodologia proposta pelo IPCC AR4. O índice de Erosividade das Chuvas (R) utilizou-se da Equação Universal de Perdas de Solo. Os resultados demonstraram que o cenário otimista (B2) e cenário pessimista (A2) indicaram situações críticas das condições do solo que ocasionarão perdas para os recursos hídricos e cultivos de sequeiro; os índices pluviométricos para o cenário A2 não são suficientes para vários tipos de culturas; a área de estudo enquadra-se como sendo de alta erosividade uma vez que o fator erosividade (R) encontrado foi de  $11.701,1 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Medeiros (2012) realizou uma análise climatológica da precipitação no município de Cabaceiras – PB no período de 1930-2011, como contribuição a Agroindústria e constatou que os índices pluviômetros são essenciais a sustentabilidade agroindustrial.

A região Nordeste do Brasil (NEB) caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação pluvial e pelos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano. Assim, a região NEB é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano segundo Souza et al. (1998).

O conhecimento do comportamento das variáveis climáticas é de suma importância para o planejamento das atividades agrícolas. E a temperatura do ar destaca-se na condução de estudos concernentes à ordenação agrícola, uso do solo, zoneamento ecológico e aptidão climática, época de semeadura, estimativa do ciclo das culturas, dentre outras conforme Oliveira Neto et al. (2002).

A chuva fraca é de grande importância para a agricultura, pois ela é mais propícia para manter a umidade do solo, se esta chuva diminui, o solo vai ficando cada vez mais seco, sem vegetação, se tornando desprotegido. Isto confirma a situação pelo qual a região passa, a qual está incluída numa área que apresenta alta susceptibilidade à desertificação de acordo com o Relatório do Programa nacional de combate à desertificação.

As consequências que poderão ocorrer nas características do clima atual, as graves seriam a elevação dos IA e das áreas de desertificação devido à elevação da deficiência hídrica. Além de eventos extremos que estaria associado prioritariamente nas regiões que hoje já são áridas ou semiáridas, a exemplo do semiárido brasileiro (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Medeiros et al. (2013) Conhecer o clima local é um fator importante para planejar os recursos hídricos, haja vista que vários elementos meteorológicos estão inseridos no ciclo hidrológico. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a estimativa dos balanços hídricos climatológicos (BHC) e suas classificações segundo Köppen e Thornthwaite e Mather para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, PI. Os meses de maiores insolação ocorrem entre maio a outubro com flutuações variando de 223 horas e décimos a 297,1 horas e décimos. A umidade relativa do ar oscila entre 60% a 80% nos meses de novembro a maio. A retirada de água na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto ocorrem nos meses de agosto a janeiro, as deficiências hídricas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, a reposição das águas acontecem nos meses de fevereiro e março e os excedentes hídricos ocorrem entre os meses de abril a julho, desta forma conclui-se que a comunidade ribeirinha utiliza-se de sistema de irrigação nas atividades agrícolas independente dos períodos seco ou chuvoso.

Precisa-se entender que o sucesso do desenvolvimento de uma região depende da exploração correta e do uso eficiente de seu capital natural, ou seja, é preciso encarar o desafio de uma convivência sustentável e aceitar a fragilidade dos ecossistemas envolvidos conforme Andrade et al. (2010).

Aubreville (1949), um dos primeiros estudiosos sobre o tema, salienta apresenta dois efeitos principais da desertificação: a) a erosão dos solos, seja pelo processo laminar, seja pelo ravinamento, processos que se instalariam como consequências da retirada da vegetação; b)

agravamento do déficit hídrico dos solos, em virtude da maior exposição dos mesmos à radiação solar e a ação dos ventos secos.

No contexto geográfico, percebe-se que a apropriação do solo, do relevo, como suporte ou recurso, origina transformações que começam com a subtração da cobertura vegetal expondo o solo aos impactos pluviosos. Todavia, ocorrem alterações nas relações processuais, como as mudanças no jogo dos componentes de perpendicular, correspondente a infiltração, a paralela, assoreamento, agentes externos, escoamento superficial ou fluxo de terra de acordo com Casseti (1994).

Os estudos sobre este processo de degradação são de suma importância porque comprometem fortemente a economia e o meio ambiente e afeta tanto a população urbana e rural, do município e expande-se nas circunvizinhanças, com muita rapidez pelos domínios morfoclimáticos da Caatinga em conformidade com a CPRM (1972).

O processo de avaliação do impacto ambiental é uma tarefa complexa, pela diversidade de fatores sociais, físicos e biológicos, e também por não ser um conhecimento exato das relações entre os ambientes sociais e físicos. Muitos dos conflitos socioambientais estão associados a grandes riscos, tantos naturais (desastres, extinção de espécies, deslizamentos etc.) como sociais (perigo à saúde, deterioração da qualidade de vida, direitos humanos, sobrevivência econômica, etc.), segundo Vargas (1997).

Desta forma, as questões ambientais vinculadas direta ou indiretamente ao clima demonstram a intensa vulnerabilidade da sociedade contemporânea em relação aos fenômenos da natureza em conformidade com Mendonça (2007).

Segundo Nicholson (1999), a expansão dos núcleos de desertificação é um dos maiores problemas causados pelas estiagens nas regiões semiáridas, pois os fenômenos meteorológicos que contribuem para a desertificação são, por ordem de importância, as secas, as avalanches, a erosão do vento e a variabilidade climática.

De qualquer forma, há vários outros critérios para se avaliar o processo de desertificação, como, por exemplo, a variabilidade interanual da precipitação, por meio de fórmulas que levem em conta o desvio-padrão anual do fenômeno, além da realização de análises espectrais de séries temporais de precipitação, a fim de detectar ciclicidades, periodicidades e tendências por Silva et al. (2010).

Medeiros et al (2012), encontrou o fator (R) para o município de Areia, que foi de 31.528,8 MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano. E estabeleceu que os maiores índices de erosividade fossem decorridos nos meses de março a agosto, que coincidem com o período chuvoso e a capacidade de campo em valores máximos, com restos de cultivos. Os meses de setembro até a primeira quinzena do mês de fevereiro ocorreram os menores índices de erosividade, o que corresponde ao período seco e início das chuvas de pré-estação.

Objetiva-se estimar a erosividade das chuvas na área da BHRUP, tendo em vista o desenvolvimento de manejos apropriados para um melhor e maior aproveitamento do solo da região e auxiliar a sustentabilidade do homem rural e o setor agropecuário.

## **Material e métodos**

Utilizou-se dados de precipitação pluviométricas totais mensais médios e anuais no período de 1960 a 1990. Os dados de precipitações mensais históricos utilizados foram obtidos de uma série histórica de 30 anos (1960 a 1990), pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI).

Os dados de precipitação diárias e mensais são provenientes dos anos de 1960 a 1990, dos pluviômetros “Ville de Paris”, onde em alguma localidade foram realizados os preenchimentos de falhas para alguns meses sem dados. Para este preenchimento utilizou-se do método de Thiesse, elaborado em planilhas eletrônicas por Medeiros (2012).

A precipitação foi dividida por sua duração e se obteve, assim, a intensidade, dada em mm h<sup>-1</sup>, conforme Foster et al. (1981). Para determinação do índice de erosividade (EI<sub>30</sub>), fez-se necessária a multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas: energia cinética total da chuva (E<sub>c</sub>), em MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> e intensidade máxima em 30 minutos (I<sub>30</sub>), em mm h<sup>-1</sup>. De acordo com Wischmeier e Smith (1978) e expresso nas unidades do Sistema Internacional, conforme Foster et al. (1981), foi considerada a Equação 1 de cálculo da energia cinética por milímetro de chuva, amplamente utilizada na literatura, por Mello et al. (2007), Cassol et al. (2008), Machado et al. (2008), Carvalho et al. (2009) e Bazzano et al. (2010):

Para determinar o fator erosividade foi utilizada a equação proposta por Wischmeier (1971) e Wischmeier e Smith (1958; 1978) definida como:

$$EI_{30} = 67,355 \left( \frac{r^2}{p} \right) e^{0,85}$$

Sendo:

EI<sub>30</sub> a média mensal do índice de erosividade das chuvas (MJ mm há<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

r a precipitação média mensal (mm); e

p a precipitação média anual (mm).

O fator R (erosividade das chuvas) permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações de determinado local, sendo possível conhecer a capacidade e o potencial da chuva em causar erosão no solo, para que assim se faça um manejo adequado e ocupação correta do mesmo de conformidade Barbosa et al. (2000) e Menezes et al. (2011). O cálculo desse fator é o somatório dos valores mensais da erosividade, conforme a equação:

$$R = \sum_1^{12} EI_{30}$$

## Resultados e discussão

Os valores calculados de erosividade e do R estão demonstrados na Tabela 1 na qual evidencia a variação das médias mensais históricas da precipitação e das avaliações dos índices de EI<sub>30</sub> e do fator R.

Tabela 1. Média mensal e anual de precipitação com os valores de EI<sub>30</sub> e Fator R para a BHRUP

Meses	Médias mensais	EI <sub>30</sub>	R
JAN	175,9	1341,8	
FEV	162,2	1169,5	
MAR	158,8	1128,3	
ABR	105,2	560,0	
MAI	22,4	40,3	
JUN	3,2	1,5	
JUL	1,2	0,3	28.429,4
AGO	1,2	0,3	
SET	10,0	10,2	
OUT	57,5	200,5	
NOV	128,1	783,1	
DEZ	149,0	1012,1	
ANUAL	916,0	22.181,5	

Fonte: Medeiros (2014).

Os meses de outubro a abril ocorrem os maiores índices pluviométricos, correspondente a 85% das chuvas anual os menores índices pluviométricos estão centrados nos meses de maio

a setembro, que corresponde a 15% do total da precipitação ocorrida. A distribuição da precipitação média histórica (Figura 1) e das avaliações da erosividade (Figura 2).

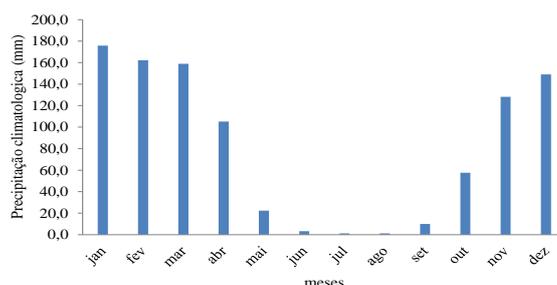


Figura 1. Precipitação média mensal histórica no período de 1960 a 1990  
Fonte: Medeiros (2014).

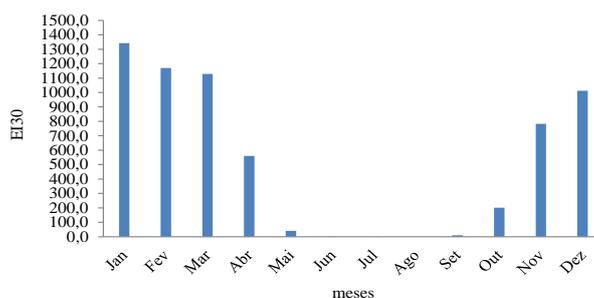


Figura 2. Erosividade média mensal no período de 1960 a 1990, para a área da BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

Nas avaliações dos cálculos dos valores de erosividade, demonstrados na Tabela 1, observamos que os meses de máximos valores ocorrem entre dezembro a março. Os meses de junho, julho e agosto são os que apresentam as menores avaliações de erosividade. A precipitação mensal oscilando de 1,2 a 175,9 mm com 30 anos de observações. O fator R da área em estudo é de 28.429,4 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Os índices de erosividade apresentado na Figura 2b, basicamente seguem o critério da precipitação com os seus valores de altos e baixos índices, comprovando deste modo o que foi proposto por Lemos e Bahia (1992).

## Conclusões

A BHRUP enquadra-se como sendo de moderada a intensa erosividade uma vez que o fator erosividade (R) encontrado foi de 28.429,4 MJ mm há<sup>1</sup> ano<sup>-1</sup>;

O maior índice de erosividade encontrado centra-se nos meses de dezembro a março com oscilações da erodibilidade variando entre 1012,1 a 1341,8 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> coincidindo com os meses mais chuvosos (149 a 175,9 mm) respectivamente, e os meses de junho, julho e agosto apresentaram os menores índices de erosividade, (1,5, 0,3 e 0,3 MJ mm há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) consecutivamente, sendo estes os meses de menores precipitações (3,2; 1,2 e 1,2 mm).

Quanto maior a precipitação, maior será o índice de aridez, e diante a erosividade menor será a susceptibilidade. A temperatura influencia na evapotranspiração, ou seja, na perda de água para a atmosfera, pois quanto maior a temperatura, maior será a evapotranspiração e, conseqüentemente, menor o índice de aridez e, portanto maior a susceptibilidade à erosividade.

O problema é afrontado tanto no período chuvoso (as chuvas arrastam grandes quantidades de terra), quanto no período seco, época em que os solos ficam demasiadamente secos e a ação do vento acentuam ainda mais o processo erosivo. Os brejos e leitos dos rios estão sendo soterrados pelos solos erodidos.

Pode-se detectar também que a vegetação predominante nessa região é reflexa do solo, do relevo e do clima predominante; por isso, predominam um alto grau de empobrecimento da vegetação, constituindo-se de extratos compostos por árvores, arvoretas, arbustos e ervas que secam no período de seca.

Tendência de crescimento nas áreas de desertificação e, conseqüentemente, uma redução das demais classes de fauna e flora encontradas na região estudada.

Os resultados estão de acordo com Mehl et al. (2001), onde a distribuição das chuvas concentradas no padrão avançado tende a gerar menores perdas de solo pelo fato de que, no momento do pico da chuva, o solo estaria menos úmido que no caso dos outros padrões; desta forma, a desagregação, o selamento e o transporte de solo seriam menores.

## ESTIMATIVA DA EROSIÃO PLUVIAL

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

Várias pesquisadores têm buscado decidir o melhor índice de erosividade para as diferentes condições brasileiras. Tal índice seria aquele que melhor se correlacionasse com as perdas de solo, como feito por Wischmeier e Smith (1958). Embora os coeficientes de correlação entre o  $EI_{30}$  e as perdas de solo no Brasil sejam comumente inferiores aos encontrados em outros países, de acordo com Moraes (1986), sendo superiores aos obtidos com o uso do  $KE > 25$ .

No Brasil, vultoso número de solos já tem o valor de erodibilidade verificado, principalmente com uso de chuvas. Conforme Dedeczek (1988), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 t h (MJ mm)<sup>-1</sup>, e a dos solos que possuem horizonte B textural fica entre 0,004 e 0,044 t h (MJ mml)<sup>-1</sup>.

Em várias regiões do Brasil tem ocorridos sérios problemas de degradação ambiental, ocasionados tanto por alterações antrópicas quanto por processos naturais. Dentre os processos naturais pode-se destacar a erosão hídrica como uma das mais importantes formas de erosão do solo, principalmente quando não há planejamento e desrespeito à capacidade de uso dos recursos naturais conforme Bazzano et al. (2010). Nesse contexto a erosão hídrica causa sérios problemas ambientais quando as chuvas intensas colidem com o solo. No Estado do Piauí os trabalhos relacionados à estimativa de erosão do solo são escassos, mesmo com os diferentes regimes de precipitação que ocorrem no Estado.

Para Monteiro (1976) o clima é como algo dinâmico e interativo em caráter de conjunto, de síntese e de dinamismo (variabilidade e ritmo) e a análise dinâmica é extremamente importante para a definição em mesoescala dos sistemas morfológicos, para a interpretação da dinâmica dos processos erosivos do meio ambiente e de outros aspectos.

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de toda e qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano de acordo com Soriano (1997).

A erosividade pluvial é definida como o potencial que tem a chuva em causar erosão no solo. Esse potencial é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, dentre elas a duração, intensidade, diâmetro das gotas, velocidade terminal e energia cinética. Na expectativa de detalhar os estudos desse agente erosivo, pesquisas demonstram que as características da chuva que proporcionam elevadas correlações com a perda de solo são a intensidade e a energia cinética (Moreti et al., 2003). O fator R de erosividade pluvial permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações de determinado local, sendo possível conhecer a capacidade e o potencial da chuva em causar erosão no solo de acordo com os autores Barbosa et al. (2000) e Menezes et al. (2011).

A erosividade pluvial consiste no potencial da chuva em causar erosão e é representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos ( $EI_{30}$ ) (Wischmeier e Smith, 1978). A determinação dos valores da erosão permite identificar os graus dos riscos da erosão de conformidade com Wischmeier e Smith (1978); Bertoni e Lombardi Neto (1990) e Hudson (1995).

Cassol et al. (2008) aconselha utilizar séries de registros pluviométricos de no mínimo 20 anos para determinar os índices de erosão. Quando todos os fatores que influem na erosão, exceto a chuva, são mantidas constantes, as perdas de solo em áreas cultivadas são diretamente proporcionais ao índice EI<sub>30</sub> (Wischmeier, 1962). Tal índice tem embasado vários estudos sobre erosividade podendo-se destacar Bazzano et al. (2010), Carvalho et al. (2009) e Cassol et al. (2008).

Santos et al. (2014) avaliaram o comportamento da disponibilidade hídrica, analisando cenários futuros. Os fatores climáticos demonstram influências relevantes no comportamento da erosividade da chuva na área referenciada, visto que a região apresenta chuvas intensas as quais acarretam riscos no manejo dos solos. Os resultados da avaliação do potencial erosivo das chuvas em Santa Filomena – PI foi de 33.209,2 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, como sendo de altíssima concentração de erosividade de chuva.

Pereira et al. (2012) demonstraram que a erosividade das chuvas estimada para o município de Camalaú, PB que os maiores índices de erosividade foram decorridos nos meses de janeiro a julho que acontecem com o do período chuvoso e a capacidade de campo em valores máximos e para os meses de agosto a primeira quinzena do mês de dezembro ocorreram os menores índices de erosividade que corresponde ao período seco e início das chuvas de pré-estação.

Segundo Silva et al. (2012), o índice de erosividade da chuva no período de 1926-2011 no município de Cabaceiras observou-se que os maiores índices de erosividade foram encontrados no período de abril de 507,1 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> coincidindo com o mês mais chuvoso com 60,2 m. Os menores índices de erosividade foram encontrados no período de outubro de 3,9 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> sendo este o mês de menor precipitação com 3,9 mm.

A degradação do solo, principalmente em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, é um processo ocasionado por vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas que podem desencadear processos de desertificação (Brasil, 1998). O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos (Lopes-Bermudez, 1990; Soriano, 1997). Parr et al. (1990) afirmaram que a eliminação da vegetação natural e a exploração da vegetação após a colheita, não apenas desprotege a superfície do solo da ação direta da chuva, como também causa a redução de uma componente fundamental do solo que é a matéria orgânica.

No Nordeste brasileiro a maioria das atividades está baseada na exploração dos recursos naturais, e em especial, no extrativismo da cobertura vegetal, no superpastejo de áreas nativas e na exploração agrícola por meio de práticas de manejo do solo muitas vezes inadequada (Sampaio e Salcedo, 1997).

Os índices de erosividade do solo na bacia hidrográfica do rio Gurguéia podem ser explicados pela intensidade, duração e frequência das chuvas (Campos, 2014). Para estimar esses índices (R) utilizou-se da Equação Universal de Perdas de Solo, de acordo com Wischmeier (1971) e Smith (1958; 1978), que permite avaliar o potencial erosivo das chuvas em determinado local. O resultado da avaliação do potencial erosivo das chuvas em Santa Filomena – PI foi de 33.209,2 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. É um índice de alta erosividade da chuva.

Lima et al. (2014) mapearam a intensidade de exploração do solo entre os anos de 1984 a 2011 na sub-bacia do rio Uruçuí Preto a montante do riacho Corrente no Estado do Piauí. Os resultados mostram que em 48,4% da área da bacia não ocorreu exploração, enquanto 35,2% apresentaram exploração média e 16,4% ocorreu exploração mais intensa.

Ferraz et al. (2014) estimaram a intensidade de uso e exploração do solo entre os anos de 1984 a 2011, no trecho correspondente à sub-bacia do rio Uruçuí Preto, entre o riacho dos Paulos e riacho da Colher, localizada ao oeste do Estado do Piauí. Os resultados obtidos apontaram acentuada exploração do solo na região de estudo. Cerca de 42,4% da área apresentou alguma forma de exploração.

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) está sujeita a chuvas de alta intensidade. Geralmente essas chuvas causam erosão hídrica bastante severa. Portanto, é importante estudar as características das chuvas, seus parâmetros básicos e como eles contribuem para a desagregação, transporte e deposição do solo. Apesar da importância do conhecimento do fator erosividade, pouco se conhece sobre o assunto na BHRUP evidenciando assim a necessidade do desenvolvimento de trabalhos que visem a estimativas desse índice (Azevedo, 2012).

O processo de avaliação do impacto ambiental é uma tarefa complexa, pela diversidade de fatores sociais, físicos e biológicos, e também por não ser um conhecimento exato das relações entre os ambientes sociais e físicos. Muitos dos conflitos socioambientais estão associados a grandes riscos, tantos naturais (desastres, extinção de espécies, deslizamentos etc.) como sociais (perigo à saúde, deterioração da qualidade de vida, direitos humanos, sobrevivência econômica, etc.) de acordo com VARGAS (1997).

Assim, o objetivo deste estudo é estimar o índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) da chuva em 48 localidades no âmbito da BHRUP com base na equação universal de perda do solo.

## Material e métodos

Para estimar o índice de erosividade pluvial, foi utilizada a metodologia proposta por Wischmeier (1971) e Wischmeier e Smith (1958; 1978) e fazendo uso da equação simplificada por Bertoni e Lombardi Neto (1999), assim a erosividade da chuva é dada como:

$$EI_{30} = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right) e^{0,85}$$

Em que:

$EI_{30}$  - é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

$r^2$  - é a precipitação média mensal, em mm;

$P$  - é a precipitação média anual, em mm.

Segundo Barbosa et al. (2000) e Menezes et al. (2011), o fator R permite avaliar o potencial erosivo das chuvas de determinado local, dado por:

$$R = \sum_1^{12} EI_{30}$$

A Equação seguinte calcula o período de retorno (T, em anos) para os índices de erosividade  $EI_{30}$  e para as chuvas máximas diárias e anuais, T é dado por:

$$T = \frac{(N+1)}{m}$$

Em que:

N é o tamanho da amostra (em anos);

m é o número de ordem dos eventos relacionados em ordem decrescente de magnitude.

Desta forma, a probabilidade (P) inversa do período de retorno (T) pode ser calculada pela Equação:

$$P = \frac{100}{T}$$

## Resultados e discussão

De acordo com a classificação de Köppen (1928) se distinguem dois tipos climáticos na BHRUP, o Tropical Quente e Úmido (Aw), com chuvas no verão e seca no inverno e o Semiárido Quente (Bsh), com chuvas no verão e inverno seco de acordo com Medeiros (2014).

A Tabela 1 apresenta os nomes das localidades, as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) os cálculos da erosividade da chuva mensal e anual para a área da BHRUP entre o período de 1960 a 1990.

Nestes cálculos foram utilizados os totais mensais e anuais de precipitação para o período de trinta anos do período de 1960 a 1990, observa-se grande fluatibilidade dos índices erosivos mensais, anuais e intermunicipais da área em estudo.

Tabela 1. Estimativa da erosividade pluvial mensal e anual dos locais situados na BHRUP no período de 1960 a 1990. Alv. = Alvorada; Faz = Fazenda; C= Colônia; B= Baixa; V= Vereda; L= Lagoa; Sta = Santa.

MUNICÍPIO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Alv. Gurguéia	3955,3	2991,1	2105,0	1454,6	178,9	0,0	0,0	0,0	15,5	355,4	1716,0	1205,4	13977,0
Alto Parnaíba	4192,7	2887,1	2138,8	1321,8	95,9	3,0	0,5	0,3	26,7	476,6	2123,4	2781,6	16048,4
Avelino Lopes	2641,8	2143,6	2212,0	832,7	39,7	3,4	0,6	0,0	15,7	242,1	1655,4	2190,6	11977,5
Faz V. Mata	3568,0	2662,4	2151,7	1189,7	98,0	1,6	0,3	0,1	19,0	352,6	1826,9	2013,1	13883,5
Faz Viração	2786,6	2947,4	1814,7	843,5	26,8	10,2	0,1	1,0	20,7	667,9	2104,8	2597,6	13821,1
Barreiras Piauí	4706,4	3564,1	3360,1	1243,2	51,8	1,8	0,2	1,8	34,3	803,5	2576,2	2957,9	19301,2
Bom Jesus	4085,4	2631,4	3321,9	2024,5	98,0	6,6	2,4	1,3	26,3	591,7	2019,0	2942,7	17751,1
Faz. Conceição	2974,1	2653,1	2732,5	1218,2	98,6	8,3	1,9	3,5	33,0	796,1	1675,0	2577,5	14771,7
Faz B. Verde	2179,6	2523,7	2883,9	940,5	30,8	2,5	2,6	0,5	15,9	606,0	2036,6	2589,0	13811,6
C. Gurguéia	4217,4	2783,4	2308,3	798,8	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	436,3	883,5	11473,9
Corrente	4323,1	3368,0	4432,7	1425,2	199,4	0,4	0,1	0,4	53,1	743,3	3691,2	4065,6	22302,7
Faz. Barras	2911,9	1908,2	2160,7	678,6	10,1	1,0	0,0	0,0	8,4	379,7	2653,0	2674,9	13386,5
Faz. Caxingó	4727,7	3222,7	3453,5	2214,0	64,7	0,4	0,8	0,0	56,0	977,4	3055,9	3090,6	20863,8
Faz. Jenipapeiro	3835,4	4034,0	3441,9	1398,8	31,9	4,7	0,1	5,8	23,6	1328,6	3523,5	3813,7	21441,8
Cristalândia	3914,4	3472,2	2982,5	1471,0	64,5	0,8	0,5	0,5	40,6	821,8	3222,5	3951,8	19943,0
Cristino Castro	4146,0	2901,4	3255,3	1968,5	141,4	13,3	0,0	0,0	34,7	415,7	1426,0	2570,0	16872,3
Faz. L. Grande	2616,4	2650,1	3207,4	1537,1	174,7	4,5	0,8	1,1	60,9	447,2	1657,7	2115,9	14473,6
Faz. Japeganga	2689,7	2810,6	3094,8	1174,9	35,8	3,0	3,3	0,0	28,3	549,0	1597,3	1621,0	13607,7
Faz. Malhadinh.	2893,6	4384,4	5555,7	4049,8	506,9	0,0	0,2	0,0	3,6	457,2	2385,8	3494,6	24731,8
Curimatá	2863,4	2769,4	2689,3	1581,7	70,1	4,2	0,0	1,2	29,5	513,2	2080,3	2896,3	15498,6
Faz. S.Francisco	3453,5	3015,6	3172,3	1471,2	86,0	3,0	0,5	0,7	26,2	588,7	2185,7	2746,6	16750,1
Currais	4037,4	3004,2	3082,2	1392,7	100,6	2,7	0,1	0,4	30,4	452,3	2077,9	2828,2	17009,2
Eliseu Martins	3117,8	1977,1	3138,4	1060,2	139,1	13,7	5,9	0,4	15,2	351,3	1364,2	1935,1	13118,4
Fazenda Puca	2603,9	3243,7	2063,0	1153,5	129,0	6,2	8,6	1,9	45,4	458,1	2326,2	1852,8	13892,3
Faz Chupeiro	2786,6	3068,9	3832,9	2408,2	201,1	17,4	6,0	2,0	102,1	461,7	2309,6	2965,2	18161,8
Gilbués	4455,2	3182,5	3026,6	925,3	67,2	0,8	0,0	0,3	36,4	638,5	2930,8	2533,3	17796,8
Faz Melância	4976,1	6680,9	2875,6	3400,1	171,9	0,0	0,0	2,1	9,9	475,9	3716,3	5987,1	28295,8
Faz Sta. Maria	3319,7	3661,6	3208,2	2237,0	319,3	9,4	0,0	0,0	9,8	807,6	2217,4	2913,6	18703,6
Faz B. Felipe	4994,4	4304,1	3159,0	1405,7	31,2	0,5	0,1	0,1	39,2	1264,4	2458,6	3316,9	20974,2
Faz Bela Vista	4760,3	3792,5	3549,4	1138,6	39,7	3,3	0,5	1,3	71,3	1075,8	3308,2	4481,0	22222,0
Faz Galheiro	5228,0	4645,9	3516,5	2530,7	34,4	9,2	0,0	0,2	129,2	932,9	3719,3	4020,9	24767,3
Júlio Borges	4653,1	3338,8	3549,5	1516,6	102,5	4,2	0,6	0,6	33,9	564,9	2500,9	3170,7	19436,2
Manoel Emídio	2795,8	2304,5	2784,5	1144,5	142,9	11,4	3,3	0,0	6,7	192,4	1086,2	2464,4	12936,7
Monte A. Piauí	3979,6	2783,9	3074,9	1191,1	65,3	0,8	0,6	2,1	40,9	794,7	2718,8	3126,8	17779,4
Fazenda Paus	5881,7	5023,8	5301,3	3233,9	457,4	23,8	1,6	3,1	35,7	970,1	3756,3	4072,1	29760,9
Faz. V. Glória	2919,7	3638,1	3742,0	1540,2	61,2	5,6	0,0	1,7	41,8	913,4	2633,1	3392,2	18889,1
Faz Regalo	4183,4	2666,7	2846,7	866,9	18,4	0,7	0,0	3,1	34,0	814,0	2576,0	3249,5	17259,4
M. C. Tempo	3998,8	2871,9	3082,3	1173,1	87,1	3,5	0,8	0,6	28,9	534,0	2316,7	2794,4	16891,9
Palmeira Piauí	4212,1	2204,8	2327,3	1233,0	164,1	2,3	0,0	0,0	6,2	61,9	1269,6	2367,1	13848,4
Parnaguá	3156,8	3040,4	3691,3	1254,5	68,9	5,7	0,2	1,4	29,2	682,1	2528,7	3480,7	17940,0
Faz. Barreiro	2794,2	2721,1	2209,8	1221,5	25,5	0,7	0,2	1,0	15,3	465,3	2151,3	2955,1	14560,9
Faz. Mocambo	3783,4	3348,7	3313,0	1630,9	115,8	4,4	0,7	0,8	31,5	599,8	2419,6	3132,6	18381,2
Red. Gurguéia	4397,1	2032,0	3221,7	1642,5	117,5	0,0	0,0	0,0	9,5	405,6	1741,9	1753,4	15321,3
Riacho Frio	3675,4	3085,3	3129,2	1559,2	158,4	26,9	20,1	28,0	98,9	731,5	2352,0	2883,8	17748,8
S.G. Gurgueia	3834,5	2747,9	3384,0	1337,6	97,4	2,9	0,2	0,5	50,4	674,5	2422,2	2744,3	17296,4
Santa Filomena	7337,1	8967,5	7100,9	4759,4	444,2	13,4	0,5	0,1	37,2	866,1	2454,4	5311,0	37291,8
Faz. Cachoeira	10763,0	18492,3	3823,6	8805,3	962,8	47,3	9,5	0,4	33,0	1585,9	3998,2	7056,1	61577,2
Santa Luz	4224,3	2430,8	3046,6	1091,9	185,9	0,5	0,0	0,0	11,3	148,4	1543,3	2556,2	15239,1
Sebastião Barros	5076,5	4386,4	4442,0	2210,4	223,0	5,1	0,2	0,1	34,4	539,6	2163,5	3550,0	22631,1

Fonte: Medeiros (2014).

A Tabela 2 exhibe os valores da precipitação pluvial mensal e anual, os índices de erosividade da chuva e seus respectivos desvios percentuais em relação à média para toda a BHRUP. Os meses de máximos índices pluviométricos, de novembro a abril, são correlacionados aos altos índices de erosividade. Pode ser notado na Tabela 2 que a quase totalidade dos desvios percentuais da erosividade das chuvas são superiores aos desvios da precipitação pluvial, no período chuvoso.

Tabela 2. Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial e da erosividade e seus respectivos desvios percentuais (DP) em relação à média para a área da BHRUP, entre 1960 e 1990.

Mês	Precipitação (1)		Erosividade (1)	
	(mm)	DP (%)	(MJ.mm ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	DP (%)
Janeiro	175,9	19,2	3914,4	21,4
Fevereiro	162,4	17,7	3416,3	18,7
Março	159,1	17,3	3299,9	18,1
Abril	105,4	11,5	1637,7	9,0
Maio	22,4	2,4	117,9	0,6
Junho	3,2	0,4	4,4	0,0
Julho	1,2	0,1	0,8	0,0
Agosto	1,2	0,1	0,8	0,0
Setembro	10,0	1,1	30,0	0,2
Outubro	57,6	6,3	586,7	3,2
Novembro	128,3	14,0	2288,4	12,5
Dezembro	149,3	16,3	2960,7	16,2
Total	917,6	100,0	18257,9	100,0

(1) Média de 30 anos. DP - desvio percentual.

Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 1 (a, b, c, d) mostram a erosividade média dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril com base na precipitação pluviométrica média para os 49 locais da área da BHRUP.

Na Figura 1a tem-se a erosividade do mês de janeiro onde se observa um acréscimo gradativo de este para oeste, sendo que os maiores índices de erosividade concentram-se no setor oeste e com mais concentração no extremo sudoeste da BHRUP em torno da área do município de Santa Filomena e Gilbués. Seguindo o mesmo raciocínio destacamos que nas Figuras 1b, 1c e 1d, seguem o mesmo padrão da figura analisada.

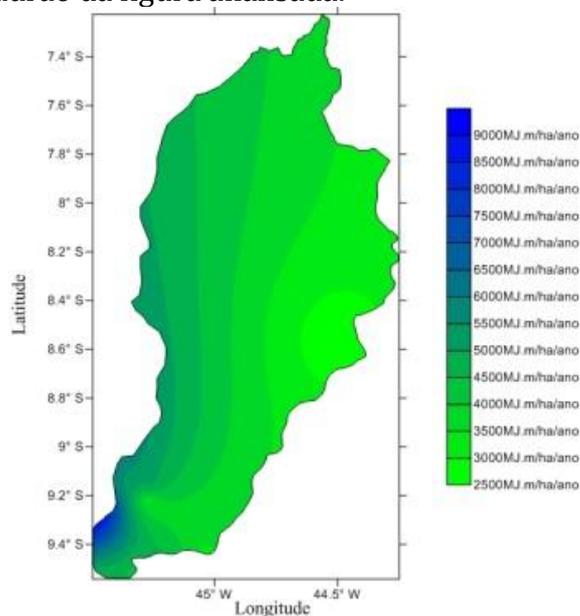


Figura 1a. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês janeiro, para a área da bacia hidrográfica do Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

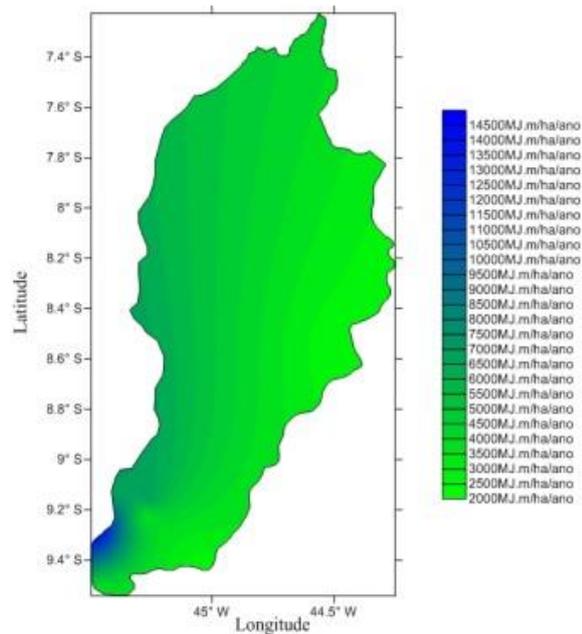


Figura 1b. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês fevereiro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

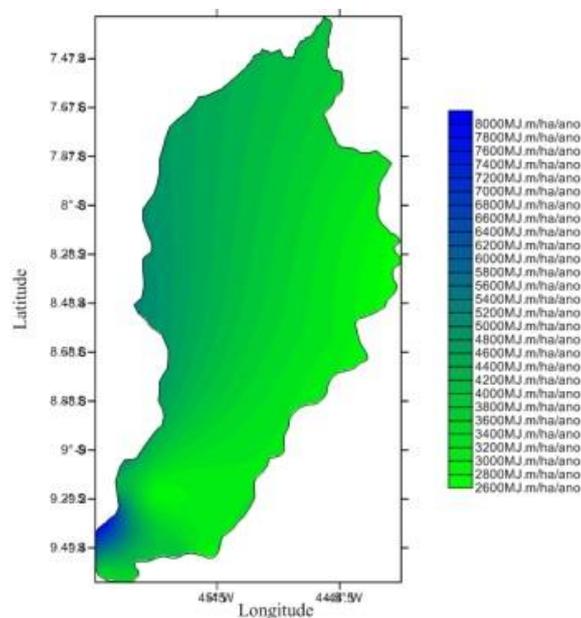


Figura 1c. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) março, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

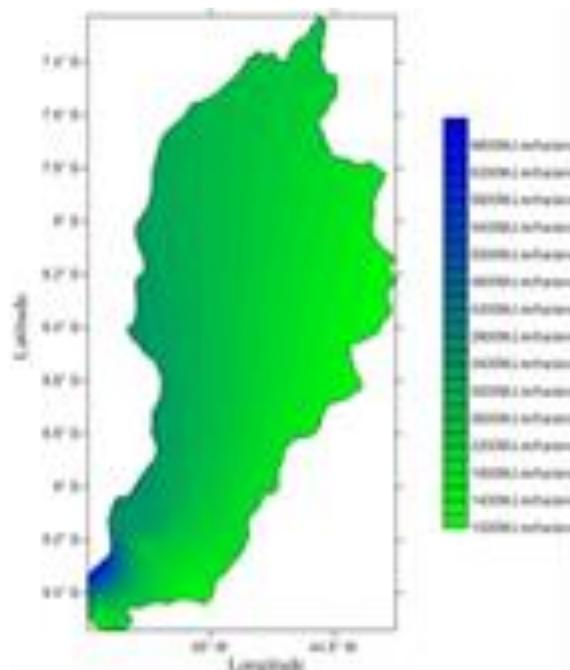


Figura 1d. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês abril, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Nas Figuras 1 (e, f, g, h) a erosividade dos meses maio, junho, julho e agosto onde apresentam um acréscimo gradativo de este para oeste, nota-se ainda que os maiores índices de erosividade se concentram no setor oeste, com picos extremo no sudoeste da BHRUP, próximo dos municípios de Santa Filomena e Gilbués.

Na Figura 1e observa-se uma mudança de padrão nos índices de erosividade, o mês de maio apresenta uma área maior de erosividade no setor sudoeste e leste. A erosividade atinge metade da BHRUP, os maiores valores ocorrem de oeste para leste.

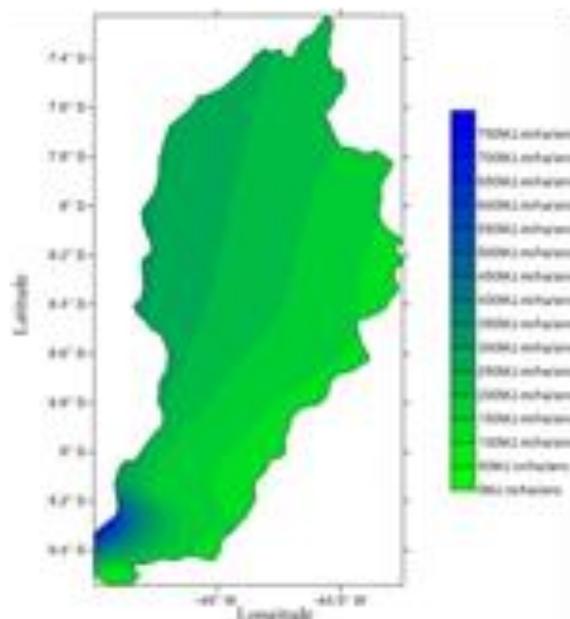


Figura 1e. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês maio, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 1f, mês de junho, a área central e norte apresentam moderada erosividade, fraca erosividade na região sul e extrema erosividade no setor sudoeste.

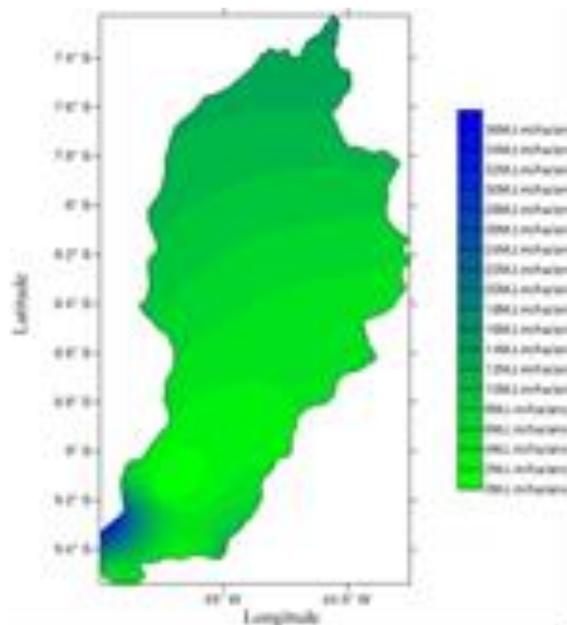


Figura 1f. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês junho, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

O mês de julho, Figura 1g, apresenta moderada erosividade no norte. No sudoeste e sudeste estão as maiores taxa de erosão. No restante da BHRUP ocorrem os menores índices de erosividade.

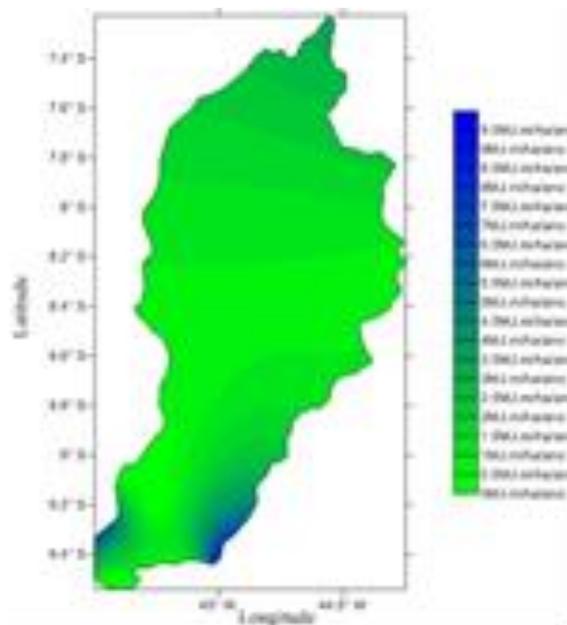


Figura 1g. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês julho, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 1h, mês de agosto, observa-se moderada erosividade no centro e setor norte. No sul da bacia ocorrem de moderada a forte erosividade, com destaque para a região sudeste da bacia. Essa ocorrência no sudeste está associada aos efeitos do vento predominantes e a baixa umidade de solo

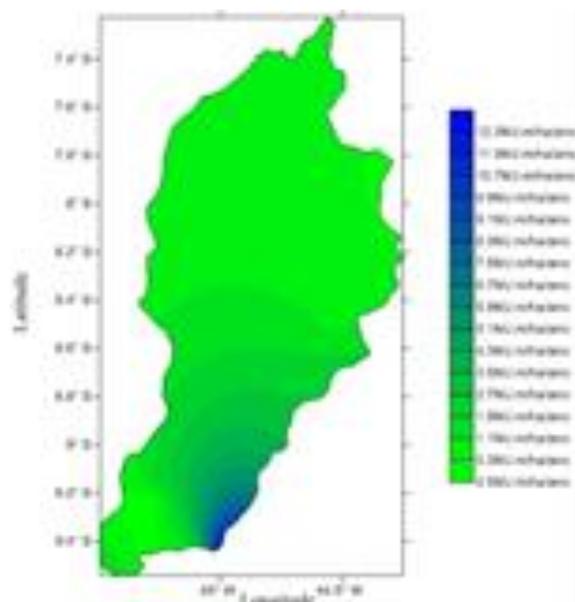


Figura 1h. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês agosto, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Figura 1i corresponde a erosividade do mês de setembro onde se destacam a área central, o leste, o norte e o extremo sul, nessas regiões ocorrem as maiores taxas de erosividade.

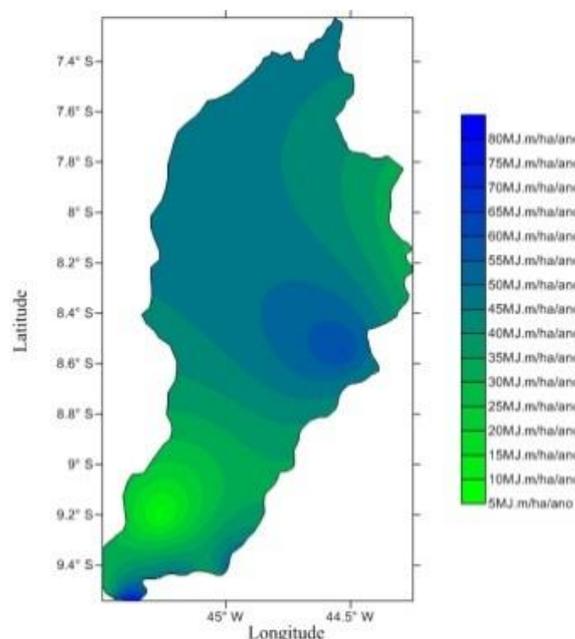


Figura 1i. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês setembro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

O leste e nordeste ocorrem moderadas taxas de erosividade. Com o início das chuvas de pré-estação (mês de outubro) nota-se ao sul da BHRUP a ocorrência de altas taxas de erosividade (Figura 1j).

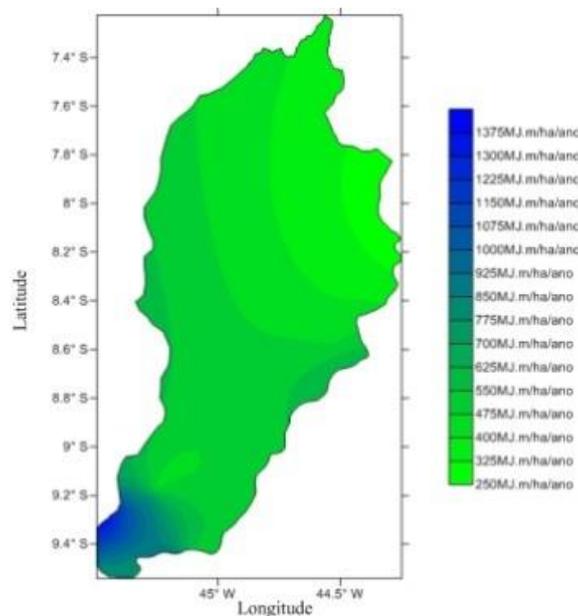


Figura 1j. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês outubro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 1k corresponde ao mês de novembro, nota-se o aumento da erosividade da chuva no setor sul da BHRUP, com intensificações nos municípios de Gilbués e Santa Filomena. Na região central e norte a erosividade é de moderada a fraca, haja vista que a intensidade das chuvas é fraca e as durações são inferiores a cinco horas.

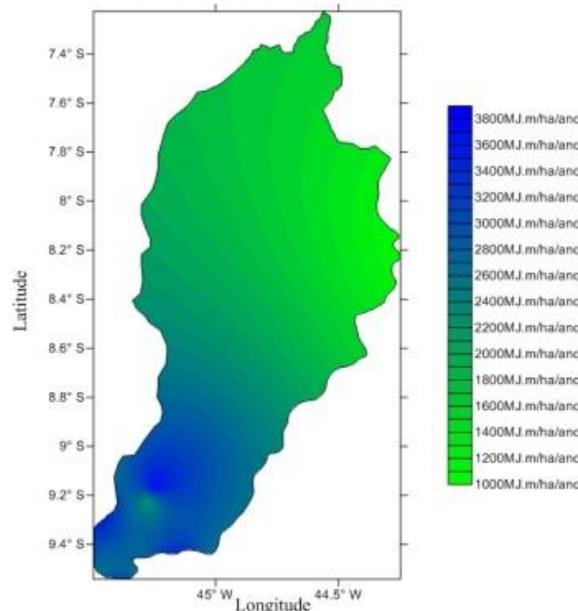


Figura 1k. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês novembro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 1l pode ser visto que as regiões oeste e sudoeste apresentam erosividade mais intensa, já no centro-leste da bacia ocorrem os menores índices de erosividade.

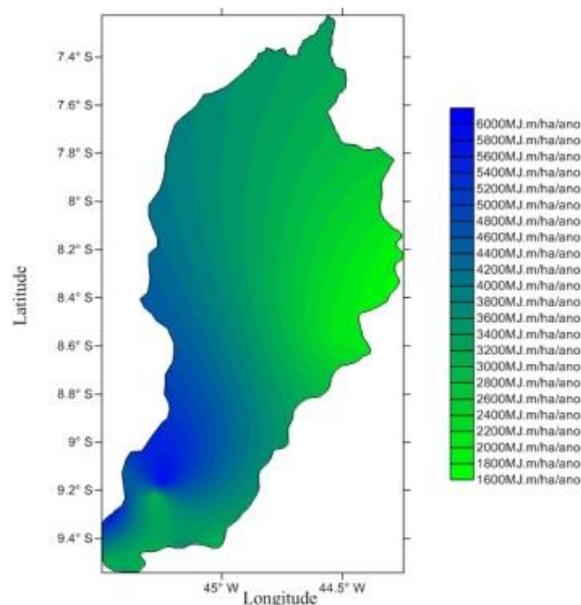


Figura 1l. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) mês dezembro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 1m tem-se o comportamento anual da erosividade na BHRUP. Os índices de erosividade decrescem de oeste para leste. Há uma área de máxima erosividade no extremo sudoeste, próximo ao município de Santa Filomena, ao norte e a este encontram-se os menores índices de erosividade.

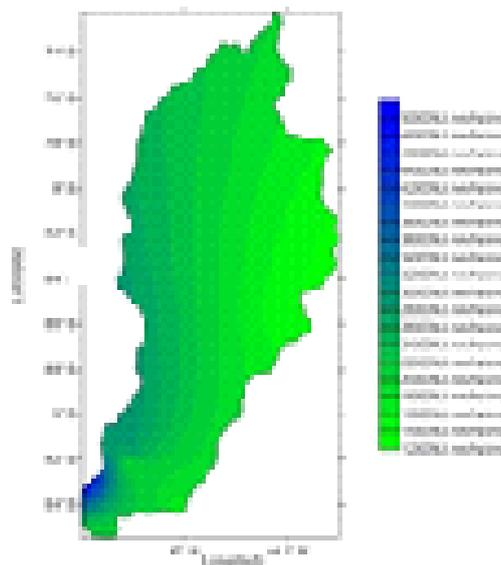


Figura 1m. Erosão da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Tabela 3 mostra o período de retorno e a probabilidade de ocorrência dos índices de erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) para a BHRUP no período de 1960 a 1990. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinada para o maior índice de erosividade anual igual a  $51.955,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$  foram, respectivamente, 31 anos e 3,23%. Da mesma forma, os valores para a menor erosividade igual a  $19.608,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$  foram de 0,63 anos e de 158,06 %.

Tabela 3. Período de retorno e probabilidade de ocorrência dos índices de erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) na BHRUP no período de 1960 a 1990.

Município	Total	Número de ordem (m)	Período de retorno (t)	Probabilidade de ocorrência (Pr)	Frequência
Fazenda Cachoeira	51955,2	1	31,00	3,23	3,23
Santa Filomena	41244,6	2	15,50	6,45	6,45
Fazenda Paus	37322,6	3	10,33	9,68	9,68
Fazenda Melância	34923,4	4	7,75	12,90	12,90
Fazenda Galheiro	33616,7	5	6,20	16,13	16,13
Fazenda Malhadinha	32992,1	6	5,17	19,35	19,35
Fazenda Bela Vista	32076,1	7	4,43	22,58	22,58
Corrente	31937,7	8	3,88	25,81	25,81
Fazenda Jenipapeiro	31373,2	9	3,88	25,81	25,81
Sebastião Barros	31184,2	10	3,10	32,26	32,26
Fazenda Boqueirão dos Felipes	31019,2	11	2,82	35,48	35,48
Fazenda Caxingó	31006,7	12	2,58	38,71	38,71
Cristalândia do Piauí	30028,0	13	2,38	41,94	41,94
Barreiras do Piauí	29769,8	14	2,21	45,16	45,16
Fazenda Santa Maria	29503,8	15	2,07	48,39	48,39
Fazenda Vereda da Glória	29417,6	16	1,94	51,61	51,61
Fazenda Chupeiro	29280,8	17	1,82	54,84	54,84
Júlio Borges	28948,6	18	1,72	58,06	58,06
Riacho Frio	28448,4	19	1,63	61,29	61,29
Parnaguá	28081,1	20	1,55	64,52	64,52
Fazenda Regalo	28064,2	21	1,48	67,74	67,74
Gilbués	28036,2	22	1,41	70,97	70,97
Bom Jesus	28025,6	23	1,35	74,19	74,19
Monte Alegre do Piauí	27626,0	24	1,29	77,42	77,42
São Gonçalo do Gurgueia	27099,6	25	1,24	80,65	80,65
Morro Cabeça no Tempo	26963,0	26	1,19	83,87	83,87
Currais	26833,4	27	1,15	87,10	87,10
Cristino Castro	26619,3	28	1,11	90,32	90,32
Alto Parnaíba	26596,3	29	1,07	93,55	93,55
Fazenda Conceição	26304,2	30	1,03	96,77	96,77
Fazenda São Francisco	26226,1	31	1,00	100,00	100,00
Fazenda Lagoa Grande	26080,1	32	0,97	103,23	103,23
Fazenda Barreiro	25802,7	33	0,94	106,45	106,45
Curimatá	25631,2	34	0,91	109,68	109,68
Fazenda Puca	25413,3	35	0,89	112,90	112,90
Fazenda Mocambo	25344,6	36	0,86	116,13	116,13
Fazenda Barra Verde	25227,4	37	0,84	119,35	119,35
Fazenda Viração	25066,9	38	0,82	122,58	122,58
Redenção do Gurgueia	25004,3	39	0,79	125,81	125,81
Santa Luz	25002,2	40	0,78	129,03	129,03
Fazenda Japeganga	24972,7	41	0,76	132,26	132,26
Fazenda Barras	24522,9	42	0,74	135,48	135,48
Eliseu Martins	24246,9	43	0,72	138,71	138,71
Fazenda Vereda da Mata	24010,3	44	0,70	141,94	141,94
Palmeira do Piauí	23339,4	45	0,69	145,16	145,16
Manoel Emidio	23197,5	46	0,67	148,39	148,39
Avelino Lopes	22976,3	47	0,66	151,61	151,61
Alvorada do Gurgueia	22665,2	48	0,65	154,84	154,84
Colônia do Gurgueia	19608,5	49	0,63	158,06	158,06

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

A precipitação pluvial entre os meses de outubro a março correspondeu a 90,74% do total anual, e a erosividade para o mesmo período foi de 90,2 % do total anual. Obviamente, esse é o período de maior risco à erosão hídrica.

Quatro localidades da BHRUP apresentam erosividade em estágio avançado: Fazenda Cachoeira, em Santa Filomena, com 51.955,2 ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ); Santa Filomena, com 41.244,6  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ; Fazenda Paus, em Monte Alegre do Piauí, com 37.322,6  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$  e Fazenda Melância, em Gilbués, com 34.923,4  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ .

No município de Colônia do Gurguéia a erosão foi de 19.608,5 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> é considerado o de menor risco à erosão. As localidades restantes da BHRUP apresentam índices de erosividade de moderados a fortes.

Em média a erosão do solo pela água da chuva é responsável em cerca de 56% da degradação do solos no mundo. Portanto, faz-se necessário o planejamento agrícola para o uso adequado do solo. A erosão na BHRUP é resultado da combinação de um rápido processo de ocupação do solo e tecnificação, solos frágeis, queimadas e chuvas intensas no período chuvoso.

Pode-se detectar também que a vegetação predominante nessa região é reflexo do solo, do relevo e do clima predominante; por isso, predominam um alto grau de empobrecimento da vegetação, constituindo-se de extratos compostos por árvores, arvoretas, arbustos e ervas que secam no período de seca.

Tendência de crescimento nas áreas de desertificação e, conseqüentemente, uma redução das demais classes de fauna e flora encontradas na região estudada.

## IMPACTOS AMBIENTAIS NA ÁREA DE ENTORNO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. Ela pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída de acordo com os autores Linsley et al. (1978) e Tucci (1977). Isso significa que a bacia é o resultado da interação da água e de outros recursos naturais como: topografia, vegetação e clima. Assim, um curso d'água, independentemente de seu tamanho, é sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica, que é a sua bacia hidrográfica em conformidade com Brigante et al. (2003).

A água tem sido a centralizadora das atenções mundiais nos últimos anos, gerando diversas discussões sobre a utilização dos recursos hídricos, como: uma melhor gestão e uma melhor adequação desses recursos tão escassos. Os sistemas aquáticos, apesar de importantes para a manutenção da vida, vêm sofrendo, devido às ações humanas, um processo acelerado de deterioração das suas características físicas, químicas e biológicas, que por sua vez, resultou na atual crise mundial, na qual grande parte da água doce do planeta apresenta algum tipo de contaminação, acarretando efeitos nocivos para a população em geral. A importância da conservação e do uso sustentável das áreas úmidas vem sendo pauta de pesquisas e tratados intergovernamentais. O estabelecimento de diretrizes para avaliação ambiental em regiões que contemplem ou interferem na qualidade e na dinâmica de áreas úmidas tem sido prioridade em estudos desenvolvidos por organizações nacionais e internacionais voltadas ao meio ambiente. A convenção sobre Áreas Úmidas, assinada em Ramsar, Irã, em 1971, é um tratado intergovernamental para a conservação e o uso racional das áreas úmidas, através de ações regionais, nacionais e cooperação internacional, visando atingir o desenvolvimento sustentável no mundo (Frazier, 2002). O modelo de civilização geradora da crise ambiental pela qual passamos é o resultado da relação desmistificada e utilitarista do homem com a natureza, que teve na Europa pós-medieval seus precursores, e se difundiu posteriormente para o mundo colonizado, o qual comparava os sistemas vivos a simples máquinas biológicas, análogos a um relógio, sendo possível conhecê-los completamente pela análise das suas partes, numa visão profundamente reducionista e incapaz de alcançar a matriz sistêmica na qual toda a natureza está inserida. Essa forma equivocada de abordagem permitiu a barbárie na relação do homem com o meio ambiente natural e a conseqüente exploração desenfreada dos recursos naturais, culminando na moderna sociedade de consumo (Pelizzoli, 1999). Foram nesses contextos que se desenvolveram os principais centros urbanos do mundo ocidental moderno. Por necessidades óbvias, esses centros urbanos, com suas demandas e produção de resíduos, instalaram-se próximos aos rios, lagoas e lagos, exercendo grande pressão sobre esses sistemas, carregando desde a sua origem um grande passivo ambiental Silva et al., 2006. Indo de contraponto com a formação da bacia hidrográfica como unidade básica natural, pois é uma unidade geográfica pré-estabelecida naturalmente, possuindo características biogeofísicas e sociais integradas.

Desta forma, é importante salientar que o nível de degradação ambiental em que se encontram as nossas bacias hidrográficas, bens imprescindíveis para as nossas vidas, decorre da falta de comprometimento ambiental e da inadequação das nossas políticas públicas, normas e

falta de pessoal especializado, geraram e geram profundas vulnerabilidades ambientais em termos de impactos ao meio ambiente, que por sua vez podem ser revistos, dando o devido tempo de recuperação aos recursos naturais. Não obstante, se essas considerações não forem adequadas ao tempo necessário que a natureza necessita, o grande perdedor da história será o homem, o maior vilão ambiental de todos os tempos, perdendo todas as suas reservas de água, solo férteis, fauna, flora, ou seja, toda a biodiversidade que é tão importante para o equilíbrio ambiental e a harmonia do nosso planeta.

## **Impactos Ambientais**

Thomaz e Vestena (2003) ressaltam que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado, considerando-se como perdas intermediárias os evaporados, transpirados, captados e infiltrados profundamente.

O conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental é resultante do conhecimento das relações entre as características físicas de uma bacia de drenagem e quantidade e qualidade das águas que chegam ao corpo hídrico; por outro lado, as características de um corpo hídrico refletem as de sua bacia de drenagem (Pires et al., 2002), levando também em consideração todas as suas características químicas e biológicas do corpo hídrico.

Neste contexto, a metodologia de adotar a bacia hidrográfica como unidade geoambiental de estudo dos processos de degradação ambiental é a mais apropriada no caso da contaminação difusa de corpos hídricos. Portanto, importante se faz monitorar os teores de substâncias orgânicas, como os agrotóxicos, e inorgânicos como o nitrato, cloreto, sulfato e fosfato, mercúrio, arsênio capazes de afetar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os impactos na qualidade da água e do solo devido ao uso de agroquímicos estão associados a diversos fatores tais como o ingrediente ativo da formulação, contaminantes existentes como impurezas dos processos de fabricação, aditivos que são misturados (agentes molhantes, diluentes ou solventes, adesivos, conservantes e emulsificantes).

Os produtos resultantes da degradação química, microbiológica ou fotoquímica dos ingredientes ativos, constituem-se em motivos de grande apreensão, pois estes metabólicos possuem atividade ecotoxicológica muitas vezes mais intensa que a molécula original segundo Hemond et al. (2000).

Por outro lado, a ocupação antrópica das terras através de usos múltiplos indica a complexidade e dificuldade na elaboração de propostas para a gestão territorial, tanto em nível local como regional. Especificamente, o uso da terra que se destacam, por afetar diretamente a agricultura, que têm sido objeto de interesse de instituições e órgãos governamentais voltados ao planejamento e à adoção de políticas agrícolas viáveis ao desenvolvimento sem agressão ambiental, alguns impactos é observado na Tabela 1. Principalmente nas bacias hidrográficas, umas das ações supracitadas, a erosão, ou seja, a erosão hídrica, que é causada pela água das chuvas, é identificada como a principal causa do empobrecimento do solo. Neste processo, a estrutura do solo é destruída pelo impacto da chuva que atinge a superfície do terreno e, em seguida o material solto, rico em nutrientes e matéria orgânica, é removido do local e depositado nas depressões no interior das vertentes e no fundo dos vales. A intensidade de ação deste processo erosivo depende, além do clima, da resistência do solo e da presença de diversas condições ligadas ao manejo do solo e água e da natureza da comunidade vegetal presente em conformidade com autores Ruhe (1975); Bahia (1992).

Tabela 1. Impactos Ambientais naturais e antrópicos

Impactos Ambientais	
Impactos Naturais	Impactos Antrópicos
Erupções vulcânicas	Diminuição da matéria orgânica
Terremotos	compactação
Inundações	Impermeabilidade
Tornados	Salinização
Furacões	Desabamento de terras
Maremotos	Contaminação
Eventos extremos	Seca, chuva. Inundação, alagamento, cheias
	Desmatamento das matas ciliares
	Crescimento demográfico
	Queimadas
	Irrigação
	Mineração
	Erosão, desertificação

Fonte: Ayoade (2006).

Outros impactos de grande degradação são o desmatamento, as técnicas agrícolas inadequadas, o mau uso dos recursos naturais e o emprego de agroquímicos, levam à contaminação dos corpos hídricos e do solo. A agricultura tradicional possui importante papel na economia brasileira devido à geração de empregos no campo e distribuição de renda. Entretanto, muitas vezes, ela é conduzida por indivíduos que não possuem consciência da necessidade da conservação do meio onde vivem, principalmente quando a prática da cultura ocorre em áreas de grande sensibilidade como as próximas às nascentes de corpos hídricos e nas bordas de fragmentos florestais.

A legislação ambiental brasileira considera a bacia hidrográfica como a unidade básica para a gestão ambiental (BRASIL, 1997). Neste contexto, é importante ressaltar as práticas de manejo, conservação das águas de superfície, reposição das matas ciliares e retiradas de solo superficial. Pois, com isso, as condições naturais destes mananciais podem ser modificadas, porque o transporte de sedimentos em suspensão e de fundo resultará na alteração da qualidade da água e em assoreamento, diminuindo a vida útil dos reservatórios.

Por sua vez, o conhecimento das condições dos solos do território brasileiro, em termos da presença dos processos de erosão acelerada, e mesmo com referência à sua potencialidade, enseja a realização de trabalhos em escala local e regional, para caracterizar seus indicadores e correspondente cartografia (Pinto et al., 1995).

A ocupação desordenada das terras, o crescimento demográfico e a escassez de terras férteis, determinam a necessidade de se gerar fundamentações, estratégias, atividades e diretrizes que proporcionem aptidão dos ecossistemas com sistemas de ocupação, capazes de certificar produções sustentáveis em longo prazo. Conseqüentemente deve-se moldar o uso dos recursos naturais, de forma a aumentar e melhorar as condições econômicas e o progresso social da população afetado por esses processos danosos. Não obstante, para a utilização permanente, sustentável e eficiente desse meio ambiente, devem-se caracterizar as circunscrições físicas, biológicas e espaciais para a sua ocupação, identificando-se as possíveis sensibilidades dos ecossistemas aos impactos ambientais futuros.

## Recuperação de áreas impactadas

Desde o início dos tempos, o homem se fixou junto às margens dos cursos d'água devido às riquezas ali encontradas, que lhe proporcionavam alimento (água, caça, pesca e lazer) e matéria-prima (lenha, madeira, carvão entre outros), suprindo suas necessidades. Para o cultivo de alimentos, essas áreas se apresentam como mais produtivas em função da maior fertilidade natural quando comparado a áreas de campo e cerrado. Com isso, teve início às antropogenia nesses ecossistemas, perdurando até hoje.

Mesmo com a ocupação intensa desses novos ambientes, que ofertam extensas áreas para o cultivo, a pressão sobre essas regiões, sobre a água, o solo e matas ciliares, principalmente, continua crescente. Desta forma, as matas ciliares foram os primeiros ambientes a sofrer degradação pelo estabelecimento do homem e continuam sob pressão do mesmo. As políticas de incentivo agrícola, pecuário, piscicultura e florestal implantadas, aliadas à falta de tradição florestal e ao desrespeito à legislação, fizeram com que extensas regiões como o Triângulo Mineiro apresentassem aproximadamente 8% de cobertura vegetal nativa de acordo com IEF-MG (1995).

Na atualidade, os conhecimentos sobre a fauna e flora nativa são pouco concisos para sustentar alterações na legislação devido à descontinuidade e pequeno volume de estudos do tipo: quando florescem e frutificam, como se propagam e cresce, qual é seu habitat preferencial, qual o mínimo necessário para favorecer a proteção do solo e manter a dinâmica sustentada e como manejar economicamente a floresta e mata conforme Oliveira-Filho (1994).

## **Preparo do solo**

O preparo do solo visa a melhorar as condições físicas do solo e/ou incorporar fertilizantes e corretivos, para favorecer o estabelecimento do povoamento. As técnicas e equipamentos a serem utilizados no preparo do solo vão depender das características físicas, químicas e topográficas do solo, bem como da disponibilidade de recursos financeiros para a execução do mesmo. As formas de preparo do solo ecologicamente correta são o Coveamento; Sulcamento na linha de plantio ou na área total (em nível); Aração (em nível); Gradagem (em nível); Subsolagem(em nível), na linha de plantio ou na área total.

Recomenda-se, no preparo do solo, observar as suas variações e suas condições físico-químicas e análise das condições locais, antes de efetivar alguma atividade na área. De modo geral, a correção do pH do solo deve se feita mediante calagem conforme análise de solo, mantendo seu valor por volta de 6,0 a 6,5 por ser a faixa ideal para o desenvolvimento da maioria das plantas. Quanto à fertilização, deve ser feita de forma a corrigir deficiências mais severas dos principais nutrientes.

Do ponto de vista dos recursos abióticos, as florestas e matas localizadas junto aos corpos da água desempenham importantes funções hidrológicas (Lima, 1989), compreendendo: proteção da zona ripária, filtragem de sedimentos e nutrientes, controle do aporte de nutrientes e de produtos químicos aos cursos da água, controle da erosão das ribanceiras dos canais e controle da alteração da temperatura do ecossistema aquático.

Desta forma, a importância de manter ou recuperar a cobertura florestal junto aos corpos d'água. O desafio está, no entanto, em encontrar técnicas adequadas de reflorestamento e superar as barreiras culturais e socioeconômicas que impedem que se promova a recuperação do meio ambiente em grande escala. Cientificamente, grandes avanços foram alcançados nos últimos anos, com o aprimoramento das pesquisas em recuperação ambiental. De um reflorestamento totalmente aleatório adotado inicialmente, efetuado sem modelo estrutural definido e sem preocupação com as espécies e proporção de acordo com Nogueira (1977) e Durigan et al. (1990), evoluiu-se para modelos mais elaborados, baseados nos processos de sucessão secundária e na composição e estrutura das florestas naturais. Projetos mais recentes, implantados a partir do final da década de 80, como os da própria CESP, (Kageyana, 1992; Kageyana et al., 1992) e várias outras iniciativas (Bahia, 1992; Nogueira, 1977; Salvador 1987; Joly, 1990), têm

considerado a estrutura e a composição das matas ciliares naturais e das florestas e/ou os processos naturais de sucessão na elaboração de modelos de revegetação e recuperação ambiental.

A precipitação pluvial passa a ser a única fonte de suprimento de água. Por isso, ao escoar superficialmente a água é barrada em pequenos açudes e usada para o abastecimento e irrigação. Além disso, muitas vezes, uma pequena fração é captada e armazenada em cisternas para fins potáveis. No entanto, este elemento do clima é extremamente variável tanto em magnitude quanto em distribuição espacial e temporal para qualquer região e, em especial, no nordeste Brasileiro (Almeida e Silva, 2004; Almeida e Pereira, 2007).

Entre os meses de novembro a março os índices pluviométricos são elevados com precipitações superiores a 100mm. E nos meses de abril a outubro a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto sofre com a escassez de água. Essas características climáticas causam uma alta variabilidade no volume dos mananciais, causando assim, em períodos de seca, a redução da quantidade e qualidade da água dos reservatórios à medida que os nutrientes são concentrados com a perda do volume de água pela evaporação e evapotranspiração.

## **Material e métodos**

Para analisar a variabilidade espaço temporal (Climatologia) da precipitação na BHRUP construiu-se gráfico para melhor ilustrar as peculiaridades do clima em toda área de estudo. Desta forma, dividiu-se o ano em quadrimestres mensais, o primeiro indo de outubro a janeiro (Quadra 1), com início do quadrimestre com chuva de pré-estação no mês de outubro, a caracterização do período chuvoso no mês de novembro e os meses de dezembro e janeiro como os mais chuvosos. O segundo quadrimestre, que abrange os meses de fevereiro, março, abril e maio (Quadra 2), ocorrendo que os dois primeiros meses ainda são os mais chuvosos, a partir da segunda quinzena de abril o período chuvoso começa com sua redução, no mês de maio ocorrem o final do período chuvoso a partir da segunda, (Quadra 3), compreende os meses de junho e setembro onde ocorre o período crítico para toda a BHRUP.

Tendo em vista toda essa variabilidade, a climatologia espaço temporal da precipitação da área em estudo é bastante irregular com meses mais úmidos e mais propícios a precipitação, os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março. E os meses mais secos, que são junho a setembro o qual envolve todo 3º quadrimestre, com valor mais representativo de 9,9 mm em média, para o mês de setembro. Os meses de julho e agosto, como os mais secos da bacia do rio em estudo. Desta forma, os meses mais propícios ao armazenamento de água para os mananciais são os meses mais efetivos dentro da estação chuvosa, que envolvem a quadra 1 e 2, que são os meses outubro a maio. Propiciando desta forma, um maior aporte hídrico na região, principalmente aos seus principais reservatórios da bacia estudada.

As chuvas têm início na segunda quinzena do mês de outubro com chuva de pré-estação (chuvas que antecedem as do período chuvoso) e prolongam-se até o mês de abril, os meses de maiores índices pluviométricos são dezembro, janeiro, fevereiro e março, e o mês de menores índices pluviométricos ocorre entre junho e setembro. Os fatores provocadores de chuva na área da bacia hidrográfica em estudo são: vestígios de frentes frias quando de suas penetrações mais intensas sobre o continente, contribuição da formação dos Vórtices Ciclones do Atlântico Sul (VCAS), contribuição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), auxílio dos Vórtices Ciclones de Altos Níveis quando seu centro encontra-se no oceano, desta forma, destaca-se a importância da conservação e recuperação da área em estudo, para melhor adequá-las a captação da água da chuva, com isso drená-la até o manancial sem nenhum prejuízo ambiental.

## **Resultados e discussão**

Tendo em vista toda essa variabilidade, a climatologia espaço temporal da precipitação da área em estudo é bastante irregular com meses mais úmidos e mais propícios a precipitação,

os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março. E os meses mais secos, que são junho a setembro o qual envolve todo 3º quadrimestre, com valor mais representativo de 9,9 mm em média, para o mês de setembro. Os meses de julho e agosto, como os mais secos da bacia do rio em estudo.

Desta forma, os meses mais propícios ao armazenamento de água para os mananciais são os meses mais efetivos dentro da estação chuvosa, que envolvem a quadra 1 e 2, que são os meses outubro a maio. Propiciando desta forma, um maior aporte hídrico na região, principalmente aos seus principais reservatórios da bacia estudada.

As chuvas têm início na segunda quinzena do mês de outubro com chuva de pré-estação (chuvas que antecedem aos do período chuvoso) e prolongam-se até o mês de abril, os meses de maiores índices pluviométricos são dezembro, janeiro, fevereiro e março, e o mês de menores índices pluviométricos ocorre entre junho e setembro. Os fatores provocadores de chuva na área da bacia hidrográfica em estudo são: vestígios de frentes frias quando de suas penetrações mais intensa sobre o continente, contribuição da formação dos Vórtices Ciclones do Atlântico Sul (VCAS), contribuição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), auxílio dos Vórtices Ciclones de Altos Níveis (VCAN) quando seu centro encontra-se no oceano, desta forma, destaca-se a importância da conservação e recuperação da área em estudo, para melhor adequá-las a captação da água da chuva, com isso drená-la até o manancial sem nenhum prejuízo ambiental.

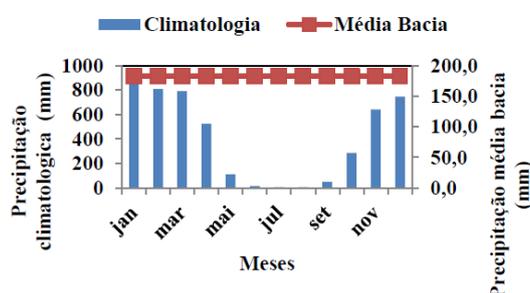


Figura 1. Flutuação média mensal da precipitação climatologia na BHRUP.

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Depois de tantas considerações são recomendáveis práticas conservacionistas nas microbacias e bacias hidrográficas como: controle do escoamento superficial da água das chuvas com medidas de controle da erosão urbana e rural, revitalização das matas ciliares e florestas, reflorestamento nas áreas ribeirinhas com plantas nativas, redução da sedimentação e, conseqüentemente, o assoreamento, redução das áreas de mineração, das queimadas, da irrigação irregular dentre outras restrições.

Quanto às medidas de manejo específicas para o controle da erosão sugere-se a rotação de culturas; a implantação de plantio direto; também implementação mais intensa das matas ciliares e faixas de vegetação nativa no meio do plantio e monocultura dentre outras recomendações.

Com medidas de manejo adequadas e ações mitigadoras, a recuperação das áreas impactadas ocasionará a melhoria da qualidade da água, no combate e controle da poluição difusa, no melhoramento da flora e conseqüentemente da fauna, ou seja, uma reabilitação ambiental quase completa. Com isso, o meio ambiente é o grande vencedor e de contrapartida o homem.

Para reverter essa situação é fundamental o estabelecimento de planos que utilizem uma abordagem sistêmica integrada e participativa envolvendo o estudo das dimensões antrópicas, sociais e econômicas e das formas de desenvolvimento sustentáveis intrínseco ao local ou área onde forem aplicados. Observando que, cada vez mais será preciso mais água, sendo

necessário harmonizar o potencial natural com as demandas da sociedade, como no caso da BHRUP. Por outro lado, é em nível local que os problemas se revelam. As pessoas que residem no local ou área afetada são, ao mesmo tempo, causadoras e vítimas de parte dos problemas impactantes desta região. São elas que convivem com os efeitos dos desequilíbrios dos recursos naturais. São elas também as mais interessadas em resolver os problemas ambientais por elas sofridos. Leis, normas, diretrizes, regulamentos e fiscalizações punitivas e onerosas podem ter pouco significado se a população não estiver sensibilizada para o problema, ou seja, as pessoas devem ser informadas dos passivos ambientais que elas mesmas causam.

A abordagem da avaliação ambiental estratégica, como procedimento para análise ambiental em políticas, planos e programas, é indicada para as análises na BHRUP, à medida que está centralizada nos efeitos do ambiente sobre as necessidades e oportunidades de desenvolvimento. De forma a integrar mais adequadamente as necessidades da população com as oportunidades de desenvolvimento, é recomendável que se faça uma avaliação dos desdobramentos sociais causados pela atividade da pecuária nas últimas décadas. Além disto, a inclusão das áreas úmidas da bacia como entorno impactado pelas atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica é o procedimento que integra adequadamente as análises ambientais na região não permitindo que estas continuem sendo realizadas dentro dos limites e da visão de empreendimentos locais.

A recuperação de danos ambientais e o controle dos efeitos que os impactos causam no ambiente e um sistema de gestão consciente de seus compromissos pode levar, juntamente com a melhora dos procedimentos técnicos e administrativos para análises ambientais, uma maior proximidade da sustentabilidade ambiental na BHRUP. Para tal propósito é importante considerar que as práticas de conservação do solo na área da bacia, principalmente na pecuária, são insuficientes e que a região necessita de ações emergenciais e objetivas visando programas de treinamento técnico, educativos e de pesquisa. Além disto, a fragilidade e a diversidade ambiental da região exigem uma Unidades de Conservação destinadas à preservação.

Os índices de degradação ambiental mais acentuado estão nas áreas urbanas, com presença de lixo, esgotos, áreas de queimadas, assoreamento dos rios e áreas desmatadas, nas áreas mais afastadas dos núcleos urbanos, as atividades são vinculadas exclusivamente à agropecuária, reduzindo a produção de alimentos e dificultando o comércio, afetando a renda, induzindo à vulnerabilidade social, além do desmatamento de grandes áreas nativas para implantação de monocultura e queimadas realizadas para limpeza do terreno, além da produção de carvão.

## URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS DE ENTORNO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Hudson Ellen Alencar Menezes  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

Uma das regiões que ocasionalmente sofre o maior impacto de variações climáticas é o Nordeste do Brasil (NEB), com sua extensão territorial de 1.540.827 Km<sup>2</sup>, e cujo relevo é constituído por amplas planícies (baixadas litorâneas), por vale baixo, geralmente inferior a 500 metros, entre superfície que alçam, muitas vezes, a cota de 800 metros na Borborema, Araripe, Ibiapaba e de 1.200 metros na Diamantina. Este relevo variável somado a uma conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica torna a climatologia desta região uma das mais complexas do mundo. A grande variabilidade climática (interanual, interanual e espacial) tem enorme reflexo na economia e na sociedade, cuja consequência se fazem sentir de forma marcante nos animais e vegetais da região.

Esta complexidade não se traduz em grandes diferenças térmicas, mas reflete-se em uma extraordinária variedade climática, do ponto de vista da pluviosidade, sem igual em outras regiões brasileiras.

Modernamente a noção de clima tem uma diversidade de definição, conforme a área de conhecimento a que se destina o estudo. Dois conceitos fundamentais devem ser esclarecidos: Fatores Climáticos: parâmetros fixos que dão origem ou determinam as variações nos elementos climáticos; Elementos Climáticos: também denominados de elementos meteorológicos, que são os parâmetros mensuráveis, cujas variações definem o clima.

Nos últimos anos, a modernização levou a um crescimento das cidades e com o aumento da urbanização que vem provocando uma intensa alteração no clima local, devido principalmente a construção de obras, como edificações, impermeabilização dos solos, desmatamento e concentração de máquinas e pessoas, além de plantações em monocultura. A ausência de um planejamento urbano para uma melhoria no convívio entre ser humano e o meio ambiente vem excluindo os elementos naturais, e induzindo com isso eventos extremos que tem como as consequências nas grandes cidades: inundações, alagamentos, enchentes, o aumento de pragas e insetos, a impermeabilização excessiva da superfície vêm causando armazenamento de água parada e sem utilização e a instabilidade de vertentes de cordo com Santos (2007).

O conceito de cidade está intimamente ligado à ideia de concentração de muitas pessoas em um espaço relativamente restrito. No momento em que o homem deixa de ser peregrino e fixa no solo como agricultor é o primeiro passo para a formação das cidades. Quando o homem começa a dominar um elenco de técnicas menos rudimentares que lhe permitem extrair algum excedente agrícola, é um segundo impulso para o surgimento das cidades, visto que ele pode agora dedicar-se a outra função que não a de plantar em conformidade com Carlos (2005).

Diante do processo de substituição das atividades primárias por atividades secundárias e terciárias, transformaram a cidade em uma área urbana para qual convergem pessoas, mercadorias, capitais, tecnologias, etc..

As cidades constituem o centro das transformações advindas da conflituosa relação entre sociedade e natureza, por agregarem num só espaço componente complexo. Na atualidade os problemas urbanitários são perceptíveis na totalidade dos centros urbanos, independente das dimensões territoriais e do número de habitantes.

O Brasil nos séculos XVIII e XIX já possuía cidades importantes sob o ponto de vista da urbanização, mas foi somente a partir do século XX que ocorreu a aceleração desse processo. Inicialmente, com cerca de 10% da população vivendo nas áreas urbanas e, no final daquele século, este percentual já chegava a 81% da população brasileira. Apesar desse processo de urbanização ter ocorrido no período republicano, a grande influência das heranças colonial e escravista contribuiu para a formação das cidades conforme Rego (2007).

O processo de urbanização iniciou-se com o surgimento das cidades. Este consiste num processo pela qual a população urbana cresce em proporção superior a população rural. Sendo um fenômeno de concentração urbana e conseqüentemente é responsável pelo crescimento populacional e pela expansão territorial das cidades. É na cidade que comumente se concentram ações antrópicas segundo Carlos (2005).

É notório que o ato de ocupar uma parcela do espaço envolve o ato de produzir o lugar, este por sua vez está diretamente relacionado com o processo denominado urbanização. Para Oliva (1995) a urbanização não é apenas um fenômeno de crescimentos de cidades, significa uma nova forma de vida para a humanidade, são novas relações sociais, novos comportamentos e o afastamento definitivo de uma existência ligada à natureza, trata-se de um espaço artificial, histórico, um espaço humano por excelência, construído totalmente pelas mãos dos homens.

No entanto, o crescimento acentuado e desordenado dos núcleos urbanos só ocorreu após a Primeira Revolução Industrial, no século XIX, quando diversas massas convergiram para as cidades em busca de emprego e de melhores condições de vida. Este aumento significativo da população transformou as cidades num verdadeiro caos, já que não havia moradias suficientes, tão pouca infraestrutura de saneamento básico e higiene.

Oliva (1995) afirma que a Revolução Industrial refere-se ao conjunto de modificações socioeconômicas, que inclui a industrialização e a urbanização como dois dos seus principais elementos. Sendo importante na consolidação das sociedades modernas capitalistas. Há dados históricos suficientes para afirmar-se que não só a indústria provocou a urbanização, como as cidades preexistentes possibilitaram a industrialização.

Segundo Abreu (2010), as cidades crescem de forma desordenada, o que é perceptível na paisagem e na malha urbana, e não há um controle público sobre o espaço construído. Nasce um ambiente desordenado e inabitável, resultantes de políticas públicas e particulares, não reguladas e não coordenadas que gera inúmeros e graves problemas, econômicos, sociais e de saúde, para a população e para o meio ambiente. Tais atividades que envolvem as questões ambientais promovem o processo de degradação do ambiente que, geralmente, é consequência do processo de urbanização que ocorre de maneira aleatória ou inadequada, provocando impactos ambientais em conformidade com a COMDEPI (2002).

Conforme Custódio (1995), impacto ambiental constitui cada alteração, qualitativa ou quantitativa, de forma alternada ou simultânea, do meio ambiente, compreendido como sistema de relações entre os fatores humanos, físicos, químicos, naturalísticos, climáticos e econômicos, em consequência da realização de projetos relativos a obras particulares ou intervenções públicas.

Segundo Botelho (2007), o homem começa a entender a impossibilidade de transformar as regras da natureza e a importância da reformulação de suas práticas ambientais, ou seja, ele está ciente da perda da qualidade ambiental. A falta de saneamento nas cidades e estrutura, em níveis mínimos que assegurem o bem-estar dos habitantes, gera um quadro de degradação do meio ambiente urbano sem precedentes, sendo os recursos hídricos um dos primeiros elementos integrantes da base de recursos naturais a sofrer tais efeitos. Por esta razão, os espelhos d'água como lago, lagoa, córregos, rios, cacimbas etc., que estejam próximos ou inseridos em alguma cidade apresentam sempre algum tipo de contaminação, sendo o grau de poluição diretamente proporcional à população e ao nível de atividade produtiva da cidade.

O consumo d'água tem excedido a renovação da mesma e o que, atualmente, verifica-se é a falta de água doce, principalmente, junto aos grandes centros urbanos e também a diminuição da qualidade da água, sobretudo devido à poluição hídrica por esgotos domésticos e industriais. (Abreu, 2010). Inúmeras são as fontes de poluição que contaminam os recursos hídricos. Os efluentes resultantes de atividades agrícolas, industriais e comerciais, bem como os dejetos gerados pelos seres humanos, têm sido lançados historicamente nos leitos comum dos rios, córregos, lagos e lagoas (COMDEPI, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) é de fundamental importância para manter o ecossistema das cidades ribeirinhas, e também para abastecer de água toda a sua população; A ocupação das margens do rio com grandes projetos agrícolas, o desmatamento desproporcional e a invasão das terras com as matas ciliares além dos esgotos e agrotóxicos que vem sendo despejado diretamente no rio e seus afluentes sem nenhum tipo de tratamento vem degradando os seus leitos e deixando-os mais rasos.

A diversificação dos usos múltiplos dos recursos hídricos no Brasil depende de vários fatores, entre eles estão o grau de concentração da população humana, do estágio de desenvolvimento econômico regional e da intensidade das atividades nas bacias hidrográficas. O crescimento da população urbana no Brasil promoveu um aumento considerável nas demandas hídricas, associado à expansão urbana, à degradação dos mananciais e à contaminação e poluição.

Tem-se como objetivo identificar os impactos ambientais da BHRUP, mediante os processos ocorrentes de urbanização.

## **Materiais e métodos**

Com a descoberta da área do Cerrado e a chegada de agricultores, produtores, latifundiários e indústria para implantação de novas culturas agrícolas como: soja, mamona, girassol, mandioca, milho, sorgo, arroz, feijão e de outras monoculturas, aonde vem ocorrendo uma urbanização crescente na área de estudo, além do desenvolvimento, das cidades quando se rompeu com a conjuntura anterior (CEPRO, 2003).

As informações bibliográficas e cartográficas foram levantadas em instituições públicas e órgãos governamentais, situados no Estado do Piauí e nos municípios que estão inseridos na região da bacia. Desse modo, foram obtidas informações a respeito da localização geográfica da bacia, dos aspectos históricos, socioeconômicos e ambientais dos quarenta e nove municípios inseridas.

Para a análise dos fatores potenciais de degradação dos recursos hídricos, foram estabelecidas relações entre os aspectos naturais do ambiente físico e as condições de uso e ocupação do solo. Ainda no presente estudo analisaram-se os impactos diretos e indiretos, de origem antrópica, sobre os recursos hídricos superficiais da bacia.

Na área da BHRUP, os principais recursos hídricos são o rio Uruçuí Preto e seus afluentes pelas margens esquerda e direita sendo fonte de alimentação, renda, lazer, agricultura familiar e de sequeiro e, sobretudo, equilíbrio do ecossistema local.

## **Uso e ocupação do solo**

Segundo o IBGE a classificação do uso e ocupação do solo da área em estudo foi realizada levando em consideração sete classes de uso. Na tabela 1 pode-se observar a discriminação dos valores das áreas e seus percentuais de ocupação na área de estudo. Mata – as fitofisionomias enquadradas foram: matas de galeria, matas ciliares, cerradão, veredas; Cerrado – a fitofisionomia cerrado no geral. Cerrado Quebrado – área que já sofreu um processo de desmatamento e atualmente esta em processo de regeneração natural, sendo denominado desta forma devido à presença de algumas espécies nativas, havendo uma menor diversidade de espécies. Queimada – Áreas onde houve a ação do fogo seja pela ação antrópica para se efetuar a limpeza de certas

áreas ou por processo de combustão natural do cerrado. Agricultura – áreas de plantio de grãos, dos projetos e fazendas do entorno da região. Área Antropizada – áreas utilizadas pelas comunidades, como áreas residenciais, pequenas roças, pastos e outras atividades antrópicas. Água - cursos da água, rios, riachos lagos e lagoas.

Tabela 1. Quantificação do uso e ocupação do solo e porcentagem de cada classe

Uso	Área (ha)	%
Mata	10.103,6	2 4,6
Cerrado	177.111,3	2 81,3
Cerrado	8.297,1	6 3,8
Queimada	14.194,1	3 6,5
Agricultura	751,76	0,3
Área Antropizada	1.952,80	0,9
Água	248,88	0,1
Total	212.659,67	97,5

Fonte: IBGE, 2006

## Metodologia

As informações bibliográficas e cartográficas foram levantadas em instituições públicas e órgãos governamentais, situados no estado do Piauí e nos municípios que estão inseridos na região da bacia. Desse modo, foram obtidas informações a respeito da localização geográfica da bacia, dos aspectos históricos, socioeconômicos e ambientais dos quarenta e nove municípios inseridas e em seu entorno. Para a análise dos fatores potenciais de degradação dos recursos hídricos, foram estabelecidas relações entre os aspectos naturais do ambiente físico e as condições de uso e ocupação do solo. Ainda no presente estudo analisaram-se os impactos diretos e indiretos, de origem antrópica, sobre os recursos hídricos superficiais da bacia.

## Resultados e discussão

O fenômeno da urbanização gerou importantes transformações no cenário urbano e nas estruturas de consumo, renda e cultura da população (CEPRO, 2003). É acompanhado de crescimento populacional, pois muitas pessoas passam a buscar a infraestrutura da cidade. Mas a urbanização é, conseqüentemente, o crescimento populacional sem um planejamento urbano é responsável pelo surgimento de múltiplos problemas sociais como, por exemplo, criminalidade, desemprego, poluição, destruição do meio ambiente e surgimento de sub-habitações. (CEPRO, 2003). O rápido crescimento das populações urbanas, também submete graves pressões aos recursos naturais, em especial aos recursos hídricos pela sua susceptibilidade.

Como resposta a esta nova realidade da paisagem urbana deu-se um ordenamento confuso do solo urbano, como coloca Silva (1993), embora o Estado passasse a investir em infraestruturas, o fez para atender aos interesses do capital nacional e estrangeiro, colocando à margem o principal problema, que é o da adequação da paisagem urbana para satisfazer às necessidades do contingente populacional e do seu aumento (Silva, 1993). A construção e implantação de bairros residenciais, os chamados – conjuntos habitacionais, na busca de tentar transpor essa problemática, não conseguiu atingir todo o contingente, grande parte ainda encontra-se excluído do mercado de trabalho formal, até mesmo a ponto de ser excluído da sua referência de cidadania.

Apesar das leis ambientais de controle da poluição das águas ter evoluído ao longo dos tempos, isso não impediu o lançamento constante, muitas vezes in natura, de enormes volumes

de rejeitos industriais, hospitalares, agrícolas e domiciliares no meio ambiente; e, conseqüentemente, nos cursos hídricos, que tiveram sua qualidade de água comprometida e seus usos limitados.

A problemática das enchentes, alagamento e desmoronamento que acontecem sazonalmente propicia a situação de calamidade pública recorrente, pois as residências e moradias não obedecem a um padrão de habitabilidade, sendo construídas com materiais impróprios e, de maneira emergencial, para dar abrigo precário a quem não tem condição de pagar um aluguel ou construir moradia digna. O rio não possui qualquer obra de contenção ou controle de cheias, apesar de ter a bacia hidrográfica extensa passando por terras.

O modelo de civilização geradora da crise ambiental pela qual passamos é o resultado da relação desmistificada e utilitarista do homem com a natureza, que teve na Europa pós-medieval seus precursores, e se difundiu posteriormente para o mundo colonizado, o qual comparava os sistemas vivos a simples máquinas biológicas, análogos a um relógio, sendo possível conhecê-los completamente pela análise das suas partes, numa visão profundamente reducionista e incapaz de alcançar a matriz sistêmica na qual toda a natureza está inserida. Essa forma equivocada de abordagem permitiu a barbárie na relação do homem com o meio ambiente natural e a conseqüente exploração desenfreada dos recursos naturais, culminando na moderna sociedade de consumo de acordo com Pelizzoli (1999).

Tem como principais impactos ambientais presentes o desmatamento das matas ciliares e de várzeas, queimadas, deposição de esgotos domésticos, hospitalares e industriais, poluição, utilização de agrotóxicos em áreas próximas as suas margens, assoreamento e soterramento, principalmente das nascentes. O desmatamento das matas ciliares resulta no assoreamento do rio, pois, a mata ciliar tem por principal função proteger o solo contra erosões, a ausência desta deixa o solo desprotegido, ficando sujeito a erosões. Com a chuva, a terra é desgastada, indo para o rio, o qual fica assoreado, tendendo a ficar cada vez mais raso.

As queimadas são uma antiga prática agropastoril ou florestal que utiliza o fogo de forma controlada ou descontrolada para viabilizar a agricultura ou renovar as pastagens. E a área da BHRUP vem sofrendo com intensas queimadas causadas pela pecuária e o agronegócio desordenado da soja entre outras monoculturas, que também se utiliza de agrotóxicos, que estimulam a cada dia o seu desaparecimento. O uso de agrotóxicos ou pesticidas não se restringe apenas as nascentes e afluentes dos rios; mas ao longo de todo seu percurso.

A deposição de esgotos domésticos, hospitalares e industriais quando não são coletados em redes ou adequadamente tratados nas estações de tratamento, ficando expostos ou lançados em estado bruto nos cursos da água, podem gerar uma série de problemas. Ao ser lançados sem tratamento nos cursos da água, uma característica marcante dos esgotos, sejam domésticos ou de outro tipo, é o consumo de oxigênio da água desses mananciais, causando prejuízos aos peixes e elevando o custo do tratamento da água para consumo.

A BHRUP apresenta um índice de poluição elevado quando se comparado ao seu parque industrial, pois este é pequeno. Sua situação é preocupante diante da deterioração do mesmo ao longo dos anos. Já se encontra locais com pontos críticos onde existem vários lançamentos de galerias fluviais, pelas quais diversos dejetos são lançados no rio sem nenhum tipo de tratamento.

## **Conclusões**

Uma das soluções do problema recorrente que assola as populações ribeirinhas localizadas próximo aos recursos hídricos da BHRUP e seus afluentes são por meio da gestão habitacional, através de um programa de saneamento básico e a realocação da população para áreas de melhores infraestruturas, melhorias estas que devem ser realizadas para garantir melhor

qualidade dos recursos hídricos e da preservação das áreas ribeirinhas, gerando melhoria da qualidade de vida e do meio ambiente.

Ratificada pela confusão nos registros de terras, pela privatização de terras devolutas, pelos cadastros públicos imobiliários incompletos, e pela falta de informações sobre o uso e a ocupação do solo. O que culmina com a exclusão social, os ganhos imobiliários privados, e a associação dos currais eleitorais. O crescimento populacional desordenado, especialmente próximo aos recursos hídricos, tem graves consequências, com grandes prejuízos sociais e ambientais, o que suscita a necessidade de um gerenciamento dessas áreas.

O meio ambiente está sobrecarregado pelas atividades antrópicas e não consegue mais desempenhar sua função depuradora. Ao se fazer uma análise da degradação dos recursos naturais diante do processo de urbanização, conclui-se que a falta de saneamento nas cidades tem gerado um quadro de degradação do meio ambiente urbano sem precedentes, sendo os recursos hídricos um dos elementos da natureza mais atingidos.

A realização de planejamento urbano, visando a implantações de novos bairros, ruas, praças e construções de edifícios, para a utilização do vento como ventilação natural, visto que a sua intensidade e direção não são uniforme devem ser consultadas a um especialista.

## ESTUDO DA EVAPORAÇÃO E EVAPOTRASPIRAÇÃO MENSAL E ANUAL

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Brbosa de Brito

**Introdução**

O conhecimento da perda d'água de uma superfície natural é de suma importância nos diferentes campos do conhecimento científico, sobretudo nas aplicações da Meteorologia e da Hidrologia às diversas atividades humanas. Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de suma importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem, de acordo com Henrique e Dantas (2007).

A quantidade de energia que chega a superfície terrestre e suas interações com o meio ambiente geram novas ações e comportamentos, como é o caso do ciclo da água, que alimentado pela radiação proveniente do sol, evapora e conduz os demais processos. De fato, as alterações no uso e cobertura do solo também contribuem para alterações no ciclo. A cobertura vegetal é uma fonte importante de vapor de água em áreas urbanas e rurais e controla o poder evaporativo de determinado local ou área.

A Evapotranspiração terrestre é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico, afetando o equilíbrio de água na superfície e o vapor d'água na atmosfera terrestre. É também uma das variáveis meteorológicas muito aplicadas na tomada de decisão em hidrologia, agroecologia, irrigação e outras áreas afins em conformidade com os autores Fu et al, (2009) e Roderick et al, (2009).

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima, do mercado e da política agrária, torna-se instável e de alto risco, devendo ser bem planejada para garantir o seu sucesso. Entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo esta variável responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção em conformidade com Ortolani e Camargo (1987).

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí (BHRUP) tem duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca. O regime pluviométrico inicia com suas chuvas na segunda quinzena do mês de outubro, se caracteriza no mês de novembro estendendo-se até março e tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Medeiros, 2014).

Devido às suas características climáticas, a prática da irrigação torna-se fundamental para viabilizar e incrementar a produção agrícola na bacia hidrográfica, assumindo caráter de irrigação suplementar, durante a estação chuvosa, e de irrigação total, na estação seca de acordo com Andrade Junior (2000).

A transferência de água de uma superfície qualquer para a atmosfera, através dos processos de evaporação e transpiração é denominada evapotranspiração. Penman (1956) define a evapotranspiração potencial (ETP) como sendo a transferência de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração, de uma superfície vegetada extensa e uniforme, coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água. Embora seja bastante limitado, esse conceito tem provado sua grande utilidade em estudos agroclimáticos e hidrológico conforme Freren (1979).

Caracteriza-se, assim, a importância fundamental de se conhecer, com a máxima fidelidade possível, a evapotranspiração em áreas irrigadas, para que se possa realizar um bom manejo da irrigação e a correta quantificação da água a ser aplicada na cultura. Visando uma melhoria quantitativa e qualitativa Adriano et al. (2003) e Gomes et al. (2002), desenvolveram

métodos empíricos da estimativa da evapotranspiração de referências mensais para o Estado do Piauí. Medeiros et al (2004).

Segundo Marengo (2012) a região NEB se caracteriza naturalmente, com alto potencial para evaporação da água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas, isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

Devido à reduzida disponibilidade de resultados locais sobre a evaporação (EVR) e evapotranspiração (ETP), sobretudo se utilizando de dados de estação meteorológica, os valores aqui disponibilizados poderão contribuir no desenvolvimento de diversos setores da sociedade, tais como: meio ambiente, agricultura irrigada, modelagem hidrológica e saúde.

Ferraz (2008), Souza (2009) e Viegas et al. (2012) estimaram a evapotranspiração de referência diária e mensal para Rio Branco utilizando os dados da estação meteorológica convencional do INMET.

Apesar da determinação da evaporação de água no solo ser de grande significância, tanto para o aspecto econômico quanto para o ambiental, é preciso salientar que não é fácil quantificá-la principalmente nas regiões áridas e semiáridas que têm dificuldades para desenvolver atividades agrícolas necessitando aumentar a eficiência do aproveitamento das precipitações, a qual é adquirida pela combinação de técnicas de captação de água da chuva com a escolha de cultivos de baixa exigência hídrica, Beskow et al. (2011).

Entretanto, para o restante dos meses ocorre redução significativa nas cotas pluviométricas, destacando-se agosto e setembro como os mais críticos. Durante a estação chuvosa as precipitações não são uniformemente distribuídas.

O termo ETo foi definido por Thornthwaite (1948) como a perda de água de uma extensa superfície vegetada, de porte rasteiro, em fase de desenvolvimento ativo e sem limitação hídrica. Segundo Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia depende do local e da época do ano. O local é caracterizado pelas coordenadas geográficas (latitude e longitude) e pela topografia da região (altitude).

Apesar de sua extensão territorial, a área em estudo conta com um número limitado de estações que medem ou registram dados de temperatura do ar. Para suprir essa limitação tem-se utilizado a estimativa desses elementos climáticos, com base nas coordenadas geográficas, conforme Medeiros (2014). Como em todo o Nordeste brasileiro, no território piauiense, as variações de temperatura do ar dependem mais de condições topográficas locais que daquelas decorrentes de variações latitudinais (Sales e Ramos, 2000).

Entretanto, outras formulações assumem que a superfície é extensa e continuamente saturada, omitindo os efeitos 'advectivos' das variáveis (velocidade do vento e pressão de vapor), e conta apenas com o calor na vertical e fluxos de massas. Tais formulações são muitas vezes referidas como "área molhada" potencial em conformidade com Morton, (1983); Priestley e Taylor, (1972) sendo mais adequados para ambientes de energia limitada. Modelos físicos, tais como o método de Penman e as equações de Penman-Monteith Monteith, 1981 e Penman (1948), são fisicamente derivados (exceto para os termos de resistência) e explicitamente incorporados a todas as variáveis de condução.

Tem-se com objetivo análise da variação média mensal e anual da evaporação, visando à delimitação de regime que caracterize o quadrimestre mais evaporativo e estimar a evapotranspiração de referência mensal e anual para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, tomando-se como modelo as equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, propostas por Lima e Ribeiro (1998).

## Material e métodos

Utilizaram-se dados de evaporação real calculados pelo método do balanço hídrico de conformidade com Thornthwaite e Mather (1948; 1955), para os 49 locais que compõem a BHRUP. Após as etapas citadas foram feitos testes de consistência para ver-se a confiabilidade dos dados gerados e das informações que seriam passadas ou utilizadas para diversas finalidades, principalmente no setor agropecuário, hidrologia e irrigação.

Para a área territorial da BHRUP a confiabilidade dos dados é de 92,5%, com isto podemos demonstrar os dados mensais e anuais dos referidos municípios e ter-se a delimitação do seu trimestre mais evaporativo.

Em relação ao quadrimestre mais evaporativo, tal quadrimestre é também representativo para o período seco que são os meses de agosto a novembro.

Para os cálculos da evapotranspiração potencial utilizou-se da formulação proposta por Thornthwaite (1948) utilizando-se das seguintes equações empíricas para a estimativa da evapotranspiração potencial considerada padrão (ETP):

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

Onde:

ETP = evapotranspiração potencial padrão para um mês típico de 30 dias, considerando-se que cada dia tenha 12 horas de insolação máxima possível (mm);

T = temperatura média do mês (°C);

I = índice calorífero anual;

ETP em mm mês<sup>-1</sup>.

a = índice, obtido como função cúbica em I.

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{T'_j}{5} \right)^{1,514}$$

Onde:

T'<sub>j</sub> é a temperatura normal do mês j.

O parâmetro "a" da equação de Thornthwaite é determinado pela seguinte expressão:

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

Como mostrado, 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 corrigir a ETP para o número de dias do mês em questão e para a respectiva insolação máxima possível (média do mês). Portanto, utilizou-se o seguinte fator de correção (FC):

$$FC = \frac{NDM}{30} \times \frac{N}{12}$$

Onde:

NDM = número de dias do mês;

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

Finalmente, o método de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial na escala mensal, será:

$$ETp = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \cdot FC$$

Este fator de correção (FC) encontra tabulado conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Fatores de correção (FC) da evapotranspiração potencial mensal, estimada pelo método de Thornthwaite, para ajustá-la ao número de dias do mês e a duração do brilho solar diário, para latitudes entre 15° N e 37° S.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15° N	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10°	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5°	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0°	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5° S	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°	1,08	0,97	1,04	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
21°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,94	0,99	1,00	1,08	1,10	1,15
22°	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°	1,15	1,00	1,05	0,96	0,94	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°	1,17	1,01	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°	1,19	1,02	1,06	0,95	0,92	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°	1,21	1,03	1,06	0,95	0,90	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35°	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36°	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37°	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

FONTE: Carvalho (1961).

Em cada posto pluviométrico que compõe a BHRUP, foi a evapotranspiração real, calculada através do balanço hídrico simplificado:  $E_{Tr} = P$  (precipitação) –  $Q$  (escoamento superficial). Portanto, outras perdas eventuais, como a recarga de água subterrânea para fora da bacia e usos consultivos, se encontram incorporadas na estimativa da evapotranspiração real.

Os dados de temperatura média foram estimados pelo software Estima\_T (Cavalcanti e Silva 1994, 2006) estando disponível no site da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm>.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar é uma superfície quadrática, dada por:

$$T = C_0 + C_1 \lambda + C_2 \varnothing + C_3 h + C_4 \lambda^2 + C_5 \varnothing^2 + C_6 h^2 + C_7 \lambda \varnothing + C_8 \lambda h + C_9 \varnothing h + ATSM_{ij}$$

Em que,

Onde:

$C_0, C_1, \dots, C_9$  são as constantes;

$\lambda, \lambda^2, \lambda \emptyset, \lambda h$  longitude;

$\emptyset, \emptyset^2, \lambda \emptyset$  latitude;

$h, h^2, \lambda h, \emptyset h$  altura.

Os índices  $i$  e  $j$  indicam, respectivamente, o mês e o ano para os quais se está calculando a temperatura do ar ( $T_{ij}$ ). Assim, o sinal das Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (ATSM),  $ATSM_{ij}$  assume valores positivos e negativos, de acordo com o padrão de comportamento de TSM do oceano. Cavalcanti e Silva (1994) também utilizaram uma superfície quadrática para determinar as temperaturas médias e extremas no NEB e, expressa, porém, apenas em função das coordenadas geográficas.

Pode-se, estimar a série temporal de temperatura, adicionando-lhe a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical, Silva et al., (2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$

$j = 1960, 1961, 1962, \dots, 1990$ .

Com o intuito de homogeneizar as classes de ETo, quando em determinado município ocorressem duas ou mais classes de ETo, estabeleceram-se duas situações:

- Mudança de classe inferior para classe superior – quando a porcentagem de ocorrência de uma classe inferior à de outra classe fosse = a 20%, a área de ocorrência da classe inferior seria incorporada à da classe imediatamente superior;

- Mudança de classe superior para classe inferior – quando a porcentagem de ocorrência de uma classe superior à de outra classe fosse = a 20%, a área de ocorrência da classe superior seria incorporada à da classe imediatamente inferior. Este procedimento possibilitou a obtenção de mapas de ETo mais uniformes e homogêneos.

## Resultados e discussão

Da análise dos dados de evaporação real representativos da área territorial da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto nas distribuições média, máximas e mínimas mensais, foi possível estabelecer o quadrimestre mais evaporativo que ocorre nos meses de agosto a novembro. Já no mês de fevereiro ocorrem os mínimos índices evaporativos.

Uma grande variabilidade da evapotranspiração intermunicipal ocorrem entre os valores de evapotranspiração para a área em estudo.

Destacamos os municípios de Barreiras do Piauí; Cristalândia do Piauí; Gilbués; Morro Cabeça no Tempo; São Gonçalo do Gurguéia e Sebastião Barros, que apresentam valor de evapotranspiração de referencia máximas nos meses de setembro e outubro e nos demais meses a sua ETo são inferiores a 100 mm, que deve ter causado pequena influência na estimativa dos valores de ETo, já que existe relação entre a latitude e a irradiância global na expressão da temperatura média do ar (Pereira et al., 2002). A diferença na altitude média dos municípios é próximos dos 500 metros foi o fator decisivo para essa variação nos valores mensais de ETo, uma vez que, à medida da altitude se eleva normalmente os valores de temperatura média tendem a ser menores, contribuindo para a redução da demanda evapotranspirativa da região (Lima e Ribeiro, 1998; Pereira et al., 2002).

Os períodos de ocorrência das classes de ETo, com valores máximos e mínimos, correspondem justamente aos períodos de ocorrência da estação chuvosa e seca, respectivamente, sendo também um reflexo natural da variação espacial e da grande amplitude da temperatura média mensal nas diferentes localidade, a qual se acentua à medida que se afasta do litoral para o interior de acordo com Tubelis e Nascimento (1987).

Tabela 1. Valores da evaporação média, máxima e mínima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

Parâmetros/meses	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Média	154,7	131,7	168,2	161,1	163,0	146,2	154,0	186,9	232,2	242,0	187,1	165,0	2092,0
Máximo	184,0	159,0	186,8	179,6	190,2	177,3	187,3	238,3	289,7	289,3	229,9	198,0	2467,8
Mínimo	124,0	101,1	141,6	133,7	127,2	102,4	106,0	123,0	167,6	186,0	130,2	129,0	1571,6

Fonte: Medeiros (2014).

Observando-se a tabela 1, vê-se que os valores médios da EVR para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí preto sua flutuação mínima da máxima ocorre no mês de fevereiro e a máxima flutuação da máxima no mês de outubro com taxa máxima evaporativa é de 2.467,8 mm ano<sup>-1</sup>.

A oscilação máxima da evaporação real (EVR) para a área de estudo fluem entre 159 a 289,7 mm mês<sup>-1</sup>. A variabilidade da EVR mínima para a área estudada flui entre 101,1 a 186 mm mês<sup>-1</sup> estas flutuações de mínimos valores intermunicipais são provocadas pela inibição ou falha nos transportes de umidade e vapor e conseqüentemente a ausência ou incidência de chuvas.

Na Figura 1 têm-se as representações gráficas da evaporação real máxima, média e mínima para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

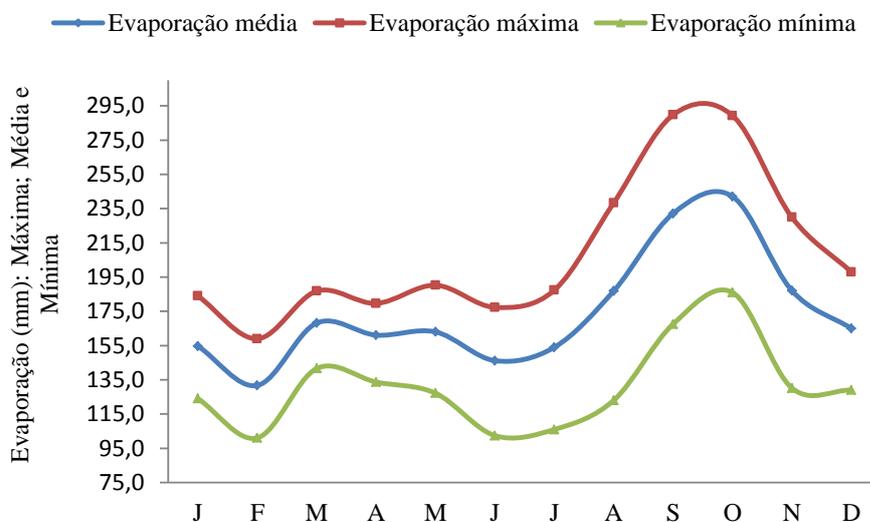


Figura 1. Representação da evaporação real média, máxima e mínima para área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e entorno.

Fonte: Medeiros (2014).

A figura 2, tem-se a distribuição anual da evaporação onde se observa um núcleo de mínimo poder evaporativo no extremo sul do estado. A variabilidade evaporativa anual oscila entre 1.660 a 2.260 mmano<sup>-1</sup>.

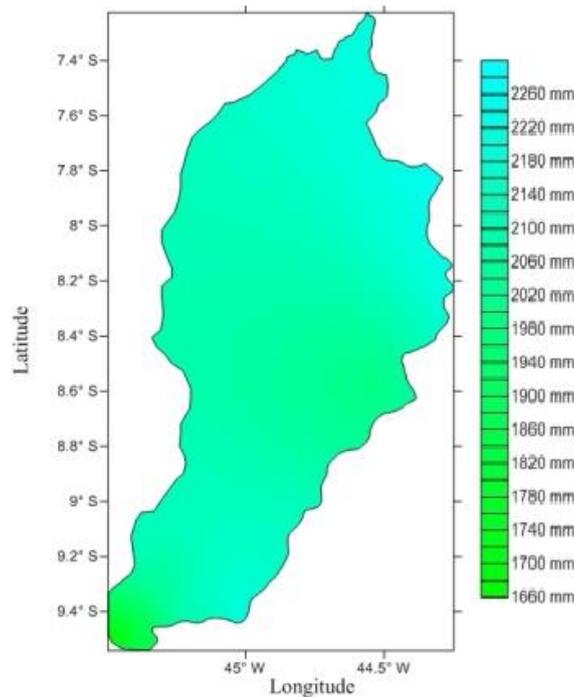


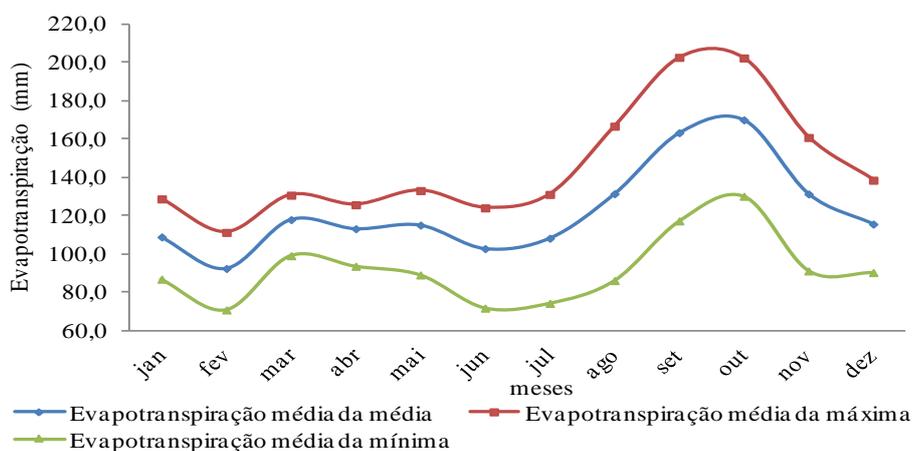
Figura 2. Variabilidade espacial da evaporação anual, para a área da BHRUP e entorno: Período: 1960-1990.

A oscilação da evapotranspiração (ETP) de referência média da área estudada ocorre entre 92,4 mm em fevereiro a 170,1 mm no mês de outubro. A ETP máxima oscila entre 111,3 a 202,8 mm; já a ETP mínima oscila entre 70,7 a 130,2 mm.

Comparando os índices evapotranspirados com os precipitados, conclui-se ser um número significativo de água evapotranspirada em relação aos índices precipitados. Os valores da evapotranspiração estudados são representativos da média dos 25 postos pluviométricos e das 24 fazendas, em que se trabalhou com o valor médio, valores máximos e mínimos, Figura 3.

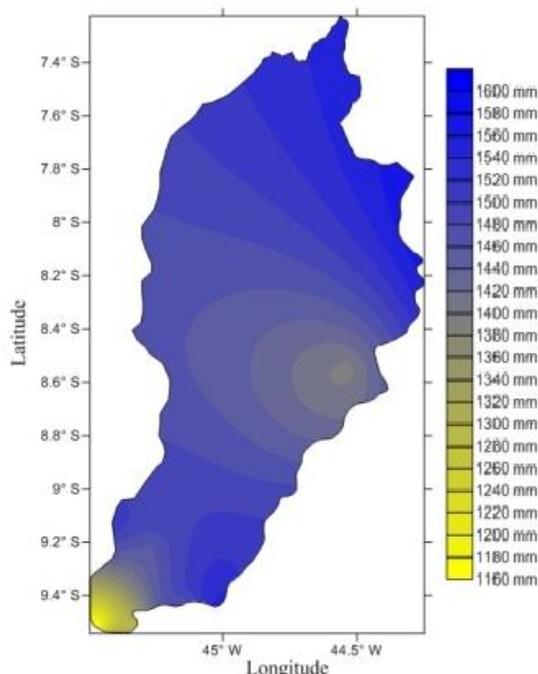
Gomes et al., 2005 estimaram a evapotranspiração de referência (ETo) mensal para o estado do Piauí, pelo método empírico de Thornthwaite (1948) com base nas equações de estimativa da temperatura média do ar, propostas por Lima e Ribeiro (1998). Estimou-se a ETo para os 222 municípios do Estado, cujos valores foram geoespacializados e agrupados em classes de ETo, com intervalo de 25 mm, gerando-se mapas de ETo mensais. Os valores de ETo mensais variaram de 55,4 a 212,0 mm, evidenciando a variação na demanda evapotranspirativa das diversas regiões do estado. O período de fevereiro a julho apresentou os menores valores mensais de ETo enquanto de setembro a dezembro, os maiores valores. Esta tendência é um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal nas diferentes regiões do estado, sinalizando que esses resultados estão em conformidade com os apresentados no estudo da bacia do rio Uruçuí Preto.

Nos meses de agosto a outubro ocorrem os aumentos na evapotranspiração em conformidade com a figura 3 devidos o período ser o mais quente e ocorre a menor umidade relativa do ar e, além disto, a quantidade de água no solo esta abaixo da capacidade de campo e as plantas estão com baixo teor de água e muita com seus pontos de muitas em declividade e com possibilidade de ocorrência de incêndio.



**Figura 3.** Evapotranspiração média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

Figura 4 se observa as menores taxas de evapotranspiração anual no extremo sul e na área leste da região central demais áreas se apresentam com evapotranspirações em elevações cujos valores máximos ocorrem nos setores norte, nordeste e sudoeste; a flutuação anual ocorre na faixa de 1.160 a 1.600 mm.



**Figura 4.** Evapotranspiração anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990.

## Conclusões

As estimativas da evapotranspiração mensais para área da BHRUP apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local (altitude).

Tais delimitações dos quadrimestres mais evaporativos e as informações das épocas de menores evaporações serviram de alerta as autoridades federais, estaduais e municipais além dos tomadores de decisões, para um melhor planejamento.

As informações dos períodos de maiores e menores poderes evaporativos devem contribuir para o planejamento da área agropecuária e da irrigação e suas contribuições nas formações dos grãos e no estresse hídrico.

O presente estudo complementa as descobertas feitas por Stone, Hess e Frumkin (2010) que concluem que os padrões de desenvolvimento urbano em expansão como a verticalização urbana, alteração da área vegetal, compactação do solo com a pavimentação, aterramento de lagoas, eutrofização dos espelhos da água têm um impacto negativo sobre a cobertura de vegetação regional, aumentando a frequência de eventos extremos de calor, devido às altas taxas de desmatamento em toda a região para acomodar gramado e superfícies impermeáveis em baixa densidade suburbana em desenvolvimento, e neste estudo sistemas meteorológicos também, mostraram que devido a tudo isto a década a partir de 1996 apresentou os índices evaporativos maiores e mais significativos.

Os índices evaporativos se apresentam com altas significâncias entre os meses de julho a primeira quinzena de outubro, sendo este período o mais seco, e onde as plantas se apresentam secas e com possibilidade de grandes focos de incêndio.

# ESTUDO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA MÍNIMA, MÁXIMA E ANUAL

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Brbosa de Brito

### Introdução

Vem a ser o fenômeno associado à perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta através da transpiração. Por ser a água total perdida pelo sistema, deve ser determinada com o maior cuidado possível, afim de que ao ser repostada, e manter sempre os sistemas em cultivo, nas condições de máximos relacionamento com o meio. Como é sabido, a planta retém em torno de 1 a 2% da água utilizada, portanto, quanto maior a quantidade de água utilizada, melhor o desempenho da planta.

A evaporação e a evapotranspiração ocorrem quando a água líquida é convertida para vapor de água e transferida, neste estado, para a atmosfera. O processo somente poderá ocorrer naturalmente se houver ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera, ou de ambos e, será controlado pela taxa de energia, na forma de vapor de água que se propaga da superfície da Terra.

Evaporação = transferência de superfície líquida e Evapotranspiração = transferência de solo, vegetação e superfície líquida, EVT potencial baseado nas condições climáticas e EVT Real valor realmente evaporado de acordo com as resistências do solo e plantas

Os parâmetros meteorológicos, expressos pela radiação solar, insolação, temperatura do ar, umidade absoluta do ar e precipitação, interagem com a cultura, estimulando a transpiração vegetal e a evaporação do solo. O total de água perdida pela superfície do solo e das plantas, no processo conjunto de evaporação e transpiração causa a evapotranspiração.

A transferência de água de uma superfície qualquer para a atmosfera, através dos processos de evaporação e transpiração, é denominada evapotranspiração. Penman (1956) define a evapotranspiração potencial (ETP) como sendo a transferência de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração, de uma superfície vegetada extensa e uniforme, coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água. Embora seja bastante limitado, esse conceito tem provado sua grande utilidade em estudos agroclimáticos e hidrológico.

Fisiologicamente a planta possui alguns artifícios de alterar sua evapotranspiração real, a fim de poupar água em condições desfavoráveis. Quando o potencial matricial da água do solo é bastante elevado, ou o déficit de saturação do vapor d'água na atmosfera também o é, o recurso adotado é diminuir a atividade dos estômatos reduzindo por sua vez a intensidade da fotossíntese.

Um dos grandes problemas com que se defrontam os técnicos que trabalham com as interações solo-água-planta-atmosfera é a contabilização da água perdida por evaporação no balanço hídrico do solo. A quantidade de água perdida pela superfície, por evaporação e/ou transpiração, é de grande importância na determinação das necessidades hídricas das culturas.

Conhecendo-se o consumo de água pela cultura e levando-se em consideração a chuva e as perdas operacionais, torna-se possível dimensionar o canal, a tubulação, o armazenamento e a

capacidade de bombeamento do sistema de irrigação. Com relação à irrigação, uma grande economia de água pode ser obtida não se permitindo que seja ministrada água ao solo em quantidade inferior e/ou superior à requerida pelas culturas irrigadas.

A evapotranspiração é influenciada pela radiação, vento, umidade e temperatura. Dessa forma, a precisão da estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) depende dos fatores climáticos.

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima, do mercado e da política agrária, torna-se instável e de alto risco, devendo ser bem planejada para garantir o seu sucesso. Entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo esta variável responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção em conformidade com os autores Ortolani e Camargo (1987).

A bacia hidrográfica do rio Parnaíba – PI tem duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca. É caracterizado pelo regime pluviométrico da região sul do Estado que inicia suas chuvas na segunda quinzena do mês de outubro, se caracteriza no mês de novembro estendendo-se até março e tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro conforme Medeiros (2014).

Entretanto, para o restante dos meses ocorre redução significativa nas cotas pluviométricas, destacando-se agosto e setembro como os mais críticos. Durante a estação chuvosa as precipitações não são uniformemente distribuídas.

Devido às suas características climáticas, a prática da irrigação torna-se fundamental para viabilizar e incrementar a produção agrícola na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, assumindo caráter de irrigação suplementar, durante a estação chuvosa, e de irrigação total, na estação seca (Andrade Junior, 2000). A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um fator importante para o dimensionamento de sistemas e manejo de água de irrigação, sendo sua estimativa mensal no âmbito regional, de extrema importância aos estudos de planejamento agrícola (Sousa, 1993).

O termo ET<sub>o</sub> foi definido por Thornthwaite (1948) como a perda de água de uma extensa superfície vegetada, de porte rasteiro, em fase de desenvolvimento ativo e sem limitação hídrica. De acordo com Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia depende do local e da época do ano. O local é caracterizado pelas coordenadas geográficas e pela topografia da região.

Medeiros et al. (2013) demonstraram que a variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por esse fenômeno, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas.

Existem diversos métodos para se estimar a ET<sub>o</sub>, sendo que a possibilidade de utilização de cada método depende dos registros dos elementos climáticos disponíveis em determinado local ou região. Como, normalmente, é mais fácil se encontrar ou dispor de dados de temperatura média do ar, na escala mensal, de determinado local ou região, o método de Thornthwaite (1948) tem sido difundido e utilizado para a estimativa de ET<sub>o</sub> nessas condições.

A transferência de água de uma superfície qualquer para a atmosfera, através dos processos de evaporação e transpiração é denominada evapotranspiração. Penman (1956) define a evapotranspiração potencial (ETP) como sendo a transferência de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração, de uma superfície vegetada extensa e uniforme, coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água. Embora seja bastante limitado, esse conceito tem provado sua grande utilidade em estudos agroclimáticos e hidrológico de conformidade com Freren (1979).

Ferraz (2008), Souza (2009) e Viegas et al., (2012) estimaram a evapotranspiração de referência diária e mensal para Rio Branco utilizando os dados da estação meteorológica convencional do INMET.

De acordo com Marengo (2012) a NEB se caracteriza naturalmente, com alto potencial para evaporação da água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas, isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

O conhecimento da perda d'água de uma superfície natural é de suma importância nos diferentes campos do conhecimento científico, sobretudo nas aplicações da Meteorologia e da Hidrologia às diversas atividades humanas. Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de suma importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem, de acordo com Henrique e Dantas, (2007).

Segundo Marengo (2012) a região NEB se caracteriza naturalmente, com alto potencial para evaporação da água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas, isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

Apesar de sua extensão territorial, a BHRUP conta com um número limitado de estações que medem ou registram dados de temperatura do ar. Para suprir essa limitação tem-se utilizado a estimativa desses elementos climáticos, com base nas coordenadas geográficas (Pereira et al., 2002). Lima e Ribeiro (1998) desenvolveram equações empíricas para estimar as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar para todo o Estado, baseadas nos valores de latitude, longitude e altitude. Como em todo o Nordeste brasileiro, no território piauiense, as variações de temperatura do ar dependem mais de condições topográficas locais que daquelas decorrentes de variações latitudinais conforme os autores Sales e Ramos (2000).

Dessa análise conclui-se que a temperatura média do ar diminui com a altitude. Na região tropical esse efeito é bastante acentuado e contribui significativamente para a melhoria do conforto ambiental, perceptível nas serras. Por isso é costume dizer que “nos trópicos, a altitude compensa a latitude” (Varejão-Silva, 2000).

A temperatura do ar é, dentre as variáveis meteorológicas, a de maior efeito direto e significativo sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem na natureza, influenciando e contribuindo substancialmente para a demanda evapotranspirativa local.

Este trabalho tem como objetivo estimar a evapotranspiração de referência mensal e anual para a área da BHRUP, tomando-se como modelo as equações de estimativa da temperatura do ar.

## **Material e métodos**

Devido à reduzida disponibilidade de resultados locais sobre a evaporação (EVR) e evapotranspiração (ETP), sobretudo se utilizando de dados de estação meteorológica, os valores aqui disponibilizados poderão contribuir no desenvolvimento de diversos setores da sociedade, tais como: meio ambiente, agricultura irrigada, modelagem hidrológica e saúde.

Apesar da determinação da evapotranspiração de água no solo ser de grande importância, tanto para o aspecto econômico quanto para o ambiental, é preciso salientar que não é fácil quantificá-la principalmente nas regiões áridas e semiáridas que têm dificuldades para desenvolver atividades agrícolas necessitando aumentar a eficiência do aproveitamento das precipitações, a qual é adquirida pela combinação de técnicas de captação de água da chuva com a escolha de cultivos de baixa exigência hídrica, Beskow et al. (2011).

Thornthwaite (1948) determinou a seguinte equação empírica para a estimativa da evapotranspiração potencial considerada padrão (ETP):

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

Onde:

ETP = evapotranspiração potencial padrão para um mês típico de 30 dias, considerando-se que cada dia tenha 12 horas de insolação máxima possível (mm);

T = temperatura média do mês (°C);

I = índice calorífero anual;

ETP em mm mês<sup>-1</sup>.

a = índice, obtido como função cúbica em I.

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left( \frac{T'_j}{5} \right)^{1,514}$$

Onde:

T'<sub>j</sub> é a temperatura normal do mês j.

O parâmetro "a" da equação de Thornthwaite é determinado pela seguinte expressão:

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

Como mostrado, 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 corrigir a ETP para o número de dias do mês em questão e para a respectiva insolação máxima possível (média do mês). Portanto, utilizou-se o seguinte fator de correção (FC):

$$FC = \frac{NDM}{30} \times \frac{N}{12}$$

Onde:

NDM = número de dias do mês;

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

Finalmente, o método de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial na escala mensal, será:

$$ETp = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \cdot FC$$

Este fator de correção se encontra tabulado conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Fatores de correção (FC) da evapotranspiração potencial mensal, estimada pelo método de Thornthwaite, para ajustá-la ao número de dias do mês e a duração do brilho solar diário, para latitudes entre 15º N e 37º S.

Lati- tude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	dez
15º N	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10º	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5º	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0º	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5º S	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10º	1,08	0,97	1,04	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

15 <sup>o</sup>	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20 <sup>o</sup>	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
21 <sup>o</sup>	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,94	0,99	1,00	1,08	1,10	1,15
22 <sup>o</sup>	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23 <sup>o</sup>	1,15	1,00	1,05	0,96	0,94	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24 <sup>o</sup>	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25 <sup>o</sup>	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26 <sup>o</sup>	1,17	1,01	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27 <sup>o</sup>	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28 <sup>o</sup>	1,19	1,02	1,06	0,95	0,92	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29 <sup>o</sup>	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30 <sup>o</sup>	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31 <sup>o</sup>	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32 <sup>o</sup>	1,21	1,03	1,06	0,95	0,90	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33 <sup>o</sup>	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35 <sup>o</sup>	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36 <sup>o</sup>	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37 <sup>o</sup>	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

FONTE: Carvalho (1961).

## Resultados e discussão

A oscilação da evapotranspiração (ETP) de referência média da área estudada ocorre entre 92,4 mm em fevereiro a 170,1mm no mês de outubro. A ETP máxima oscila entre 111,3 a 202,8 mm; já a ETP mínima oscila entre 70,7 a 130,2 mm.

Comparando os índices evapotranspirados com os precipitados, conclui-se ser um número significativo de água evapotranspirada em relação aos índices precipitados. Os valores da evapotranspiração estudados são representativos da média dos 25 postos pluviométricos e das 24 fazendas, em que se trabalhou com o valor médio, valores máximos e mínimos (Figura 1).

Gomes et al. (2005) estimaram a evapotranspiração de referência (ETo) mensal para o Estado do Piauí, pelo método empírico de Thornthwaite (1948) com base nas equações de estimativa da temperatura média do ar, propostas por Lima e Ribeiro (1998). Estimou-se a ETo para os 222 municípios do Estado, cujos valores foram geoespacializados e agrupados em classes de ETo, com intervalo de 25 mm, gerando-se mapas de ETo mensais. Os valores de ETo mensais variaram de 55,4 a 212 mm, evidenciando a variação na demanda evapotranspirativa das diversas regiões do Estado. O período de fevereiro a julho apresentou os menores valores mensais de ETo enquanto de setembro a dezembro, os maiores valores. Esta tendência é um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal nas diferentes regiões do Estado, sinalizando que esses resultados estão em conformidade com os apresentados no estudo da bacia do rio Uruçuí Preto.

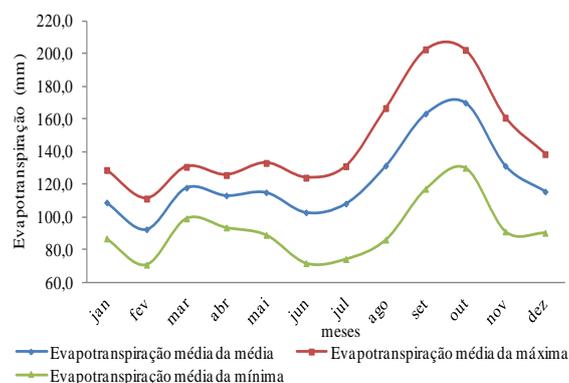


Figura 1. Representação da Evapotranspiração média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP.

Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 2 (a, b, c) representa a variabilidade da evapotranspiração: (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

Na Figura 2a se encontram os índices de evapotranspiração mínima que ocorrem no mês de fevereiro, com flutuação de 84 a 118 mm; as áreas com menores índices de ETP estão localizadas no extremo sul e na parte leste da região central, enquanto nos setores norte, nordeste e sudeste, se localizam os altos índices de ETP.

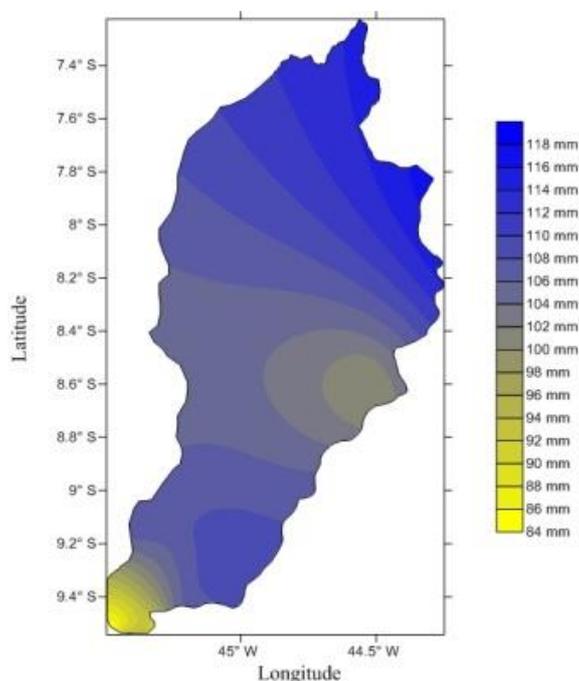


Figura 2a. Variabilidade da evapotranspiração mínima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

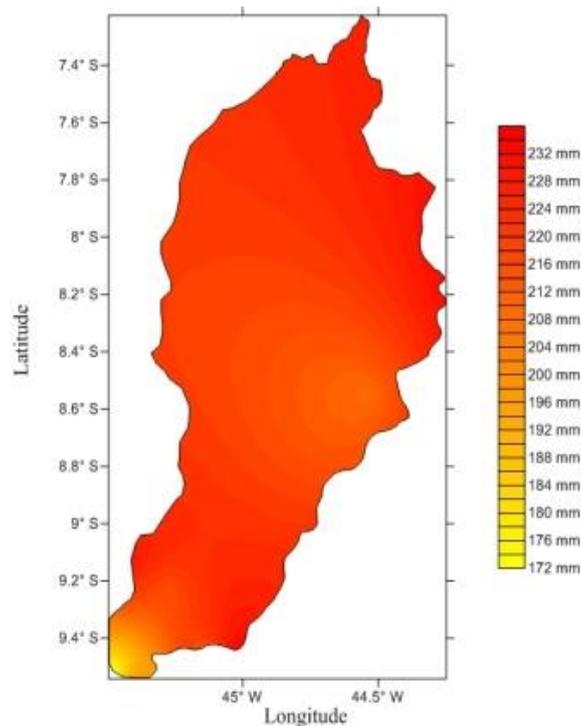


Figura 2b. Variabilidade da evapotranspiração máxima para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

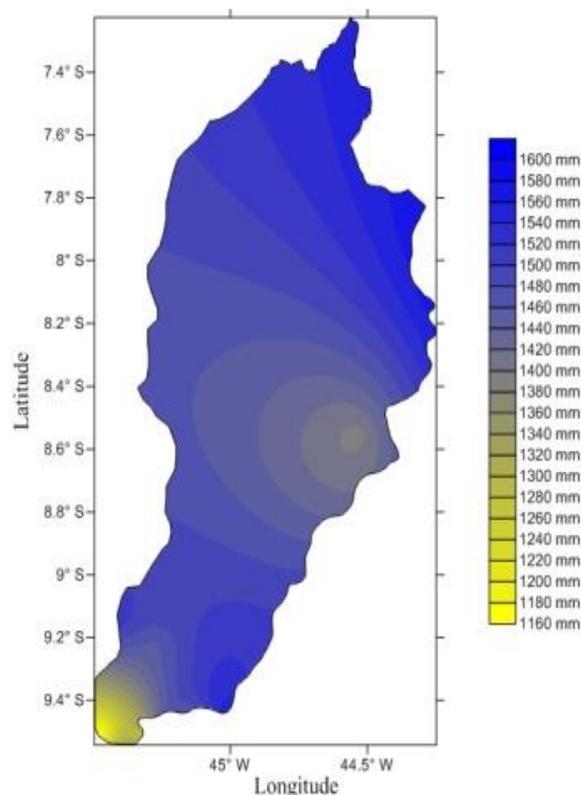


Figura 2. Variabilidade da evapotranspiração anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2b se observa acréscimo de sul-norte, em toda a BHRUP, sendo que valores mínimos dos máximos se localizam no extremo sul e em uma pequena faixa ao este da área central. Na Figura 2c se observa as menores taxas de evapotranspiração anual no extremo sul

e na área leste da região central demais áreas se apresentam com evapotranspirações em elevações cujos valores máximos ocorrem nos setores norte, nordeste e sudoeste; a flutuação anual ocorre na faixa de 1.160 a 1.600 mm.

## **Conclusões**

As estimativas de ETo mensais para a área da BHRUP apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local (altitude);

Em termos médios, predominam as classes de ocorrência de 70 a 125 mm; 125 a 175 mm e a classe mais elevada acima dos 200 mm que, juntas, totalizam 84,4 % da área de estudo, representando uma variação de 5,3 a 10,8 mm, em termos de ETo média diária, em praticamente toda a área de estudo;

Quanto à evapotranspiração real quantificada em relação à precipitação média, as regiões Parnaíba (94% da precipitação), Atlântico Nordeste Oriental (93%) o Atlântico Leste (89%), São Francisco (86%), Paraguai (85%) e Atlântico Nordeste Ocidental (83%) que apresentam os maiores valores atingindo mais de 80% da precipitação média e levando, consequentemente, aos menores percentuais de escoamento superficial efetivo.

## DIAGNÓSTICO HIDROCLIMÁTICO

Raimundo Mainar de Medeiros  
José Ivaldo Brbosa de Brito  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

O clima também exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano (Sorrano, 1997). Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido), como o Nordeste do Brasil (NEB) e em especial o estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, principalmente, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos (Paula et al. 2010). Dentre os elementos do clima de áreas tropicais, a precipitação pluviométrica é o que mais influencia a produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), principalmente nas regiões semiárida, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al. 2007), em função disto a sazonalidade da precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco a seis meses no período chuvoso (Silva, 2004).

Os inventários de recursos climáticos para fins de zoneamento agrícola e estudos de produtividade de plantas, baseiam-se primariamente na quantificação de condições de temperatura e umidade, obtidas em estações terrestres de monitoramento. Além dessas informações, o conhecimento das precipitações pluviométricas é indispensável para se compreender e controlar o ciclo natural da água, devido aos fluxos de massa e energia a ela associados. O impacto econômico e social resultante está ligado às consequências de suas manifestações externas, como inundações, alagamentos, desmoronamento de terra, enchentes, cheias e secas, desestabilização de encostas, épocas secas e por envolver necessidades crescentes de conhecimento do comportamento da água no planejamento do desenvolvimento da economia energética, rural e urbana (Huntzinger e Ellis, Seiffert, 1996). Vem surgindo nas últimas décadas um grande interesse sobre a climatologia e suas aplicações sobre o ponto de vista global e as suas variações espacial e temporal, resultante da conscientização de que a atuação humana vem exercendo uma influência poderosa sobre as camadas baixas da atmosfera, através de práticas que promovem um aquecimento global (efeito estufa) e da descoberta do impacto da atividade humana sobre a camada de ozônio, situada sobre as regiões polares e suas adjacências. Recentemente, muitos são os estudos sobre informações hidrológicas, climatológicas, agroecológicas e agroclimáticas são destinados à criação de modelos cognitivos extrapolados em modelos de bacias ou microbacias hidrográficas que levam em conta os estudos agroclimáticos, a topografia, declividade do terreno, solos e cobertura vegetal. Os estudos do monitoramento do clima, inicialmente voltados para a previsão do tempo, meteorologia e zoneamento agroclimático passaram nos anos recentes a incorporar os temas ligados às mudanças climáticas globais, eventos extremos, visando o entendimento do sistema terrestre com profundidade. Neste sentido, estudos sobre o comportamento das variáveis climáticas locais trazem uma contribuição importante, porque as atividades humanas têm modificado o ambiente, resultando em notáveis modificações no fluxo de energia, dentro do sistema climático regional, mas com reflexos globais (Barret e Curtis

1992). Neste contexto, o presente trabalho se constitui em uma análise do clima e das disponibilidades dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI.

## Material e métodos

Os postos fluviométricos localizados nos municípios de Jerumenha e Cristino Castro registram vazões médias de 6,9 a 6,1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no trimestre mais seco e vazões médias de 90 a 54 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no trimestre mais chuvoso. A bacia tem cota de 500 metros com uma extensão de 532 km, sua declividade média é 2,1 m km<sup>-1</sup>, com uma área de 48,830 Km<sup>2</sup> abrangendo 25 municípios e 24 fazendas que mostra a área da bacia hidrográfica.

A área de interesse do estudo dispõe de uma rede de estações meteorológicas reduzida e espacialmente mal distribuída, o que dificulta uma boa caracterização das condições climáticas. Sendo assim, utilizou-se de dados interpolados, estimados e gerados por retas de regressões lineares múltiplas, através do software estima\_T (Cavalcanti et al., 2006). Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER-PI) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo. A bacia do rio Uruçuí Preto é formada por 25 municípios que contém dados pluviométricos com uma série de 30 anos (período de 1960-1990). A temperatura máxima anual é de 32,1 °C, sua mínima anual é de 20,0 °C e a temperatura média anual de 26,1 °C. Utilizou-se da Classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen, onde se distinguem dois tipos climáticos na bacia do rio Uruçuí Preto – PI, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; BSh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco. Conforme EMBRAPA (1986; 2006), as três classes mais frequentes de solos identificadas na bacia do rio Uruçuí Preto são Latossolos Amarelos (predominantes na bacia), Neossolos e Neossolos Quartzarêncios e Hidromórficos. De acordo com a COMDEPI (2002), a identificação e descrição da vegetação na região da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto encontram-se da seguinte forma:

- a partir do topo das chapadas, com a comunidade vegetal típica das savanas constituída de um estrato descontínuo composto de elementos arbustivos e arbóreos caracterizados por troncos tortuosos, casca espessa, folhas coriáceas e dossel quase sempre assimétrico. Entre as espécies mais frequentes estão o barbatimão, o pau terra de folha larga e a simbaíba, e a superfície do solo é recoberta por um estrato gramíneo de capim agreste;

- a começar das vertentes entre o topo das chapadas e o trecho plano por onde corre o rio Uruçuí Preto. Nessa vertente, o cerrado se desenvolve de forma mais fechada, composto por espécies de maior porte, entre as quais o pau D'arco, o Gonçalo Alves. A precipitação pluvial passa a ser a única fonte de suprimento de água. Por isso, ao escoar superficialmente a água é barrada em pequenos açudes e usada para o abastecimento e irrigação. Além disso, muitas vezes, uma pequena fração é captada e armazenada em cisternas para fins potáveis. No entanto, este elemento do clima é extremamente variável tanto em magnitude quanto em distribuição espacial e temporal para qualquer região e, em especial, no nordeste brasileiro de acordo com os autores Almeida e Silva (2004); Almeida e Pereira (2007).

Entre os meses de novembro a março os índices pluviométricos são elevados com precipitações superiores a 100 mm; enquanto nos meses de abril a outubro a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto sofre com a escassez de água. Essas características climáticas causam uma alta variabilidade no volume dos mananciais, causando assim, em períodos de seca, a redução da quantidade e qualidade da água dos reservatórios à medida que os nutrientes são concentrados com a perda do volume de água pela evaporação e evapotranspiração. A mecanização agrícola é ilimitada não só pelo relevo, que varia de ondulado a forte ondulado, como também pela alta

espessura destes solos com risco a moderadas susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas como: controle da erosão, considerando-se também a grande futuabilidade dos índices pluviométricos e os excessos de água durante o período chuvoso. Sua utilização deve ser dirigida no sentido da pecuária e os trechos mais acidentados da área devem ser mantidos com vegetação natural. Tendo em vista as condições do solo e o clima regional, verifica-se que o aproveitamento com pecuária é indicado, desde que sejam feitas reservas de forragens para o período seco, bem como seja planejado o cultivo de palma forrageira, além do aproveitamento intensivo das vazantes em conformidade com Cavalcante et al, (2005).

### **Balanco hídrico climatológico**

No NEB, em especial a área de estudo que frequentemente enfrenta os problemas da seca, estiagens, alagamentos e inundações prolongadas dentro do período chuvoso, estas condições se tornam ainda mais graves (Nobre e Melo, 2001). Atualmente é enorme a demanda por recursos hídricos, é importante o conhecimento, do ciclo da água, principalmente das variáveis climáticas, precipitação evapotranspiração, evaporação, umidade relativa do ar (Horikoshi, 2007). Assim, de acordo com (Camargo, 1971; Horikoshi, 2007), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água ao longo do ano, é necessário comparar dois termos contrários do balanço, a precipitação (responsável pela umidade para o solo) e a evapotranspiração que utiliza essa umidade do solo. Segundo (Pereira et al., 2002; Horikoshi, 2007), a água disponível para o consumo e uso do homem pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, em que fica evidente a variação temporal de períodos com excedente e com deficiência hídricas, permitindo, dessa forma, o planejamento agrícola.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O balanço hídrico como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos e também a viabilidade de implantação e monitoramento de sistemas de irrigação ou drenagem numa região (Lima e Santos, 2009). Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) elaboraram um sistema de contabilidade para obter os déficits e/ou excessos de água, a que denominaram balanço hídrico. Neste balanço o solo é um “depósito”, a precipitação é a “entrada” e a evapotranspiração representa a “saída”. Partindo-se de uma capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao tipo de planta cultivada, produz resultados úteis para a caracterização climatológica da região e informa sobre a distribuição das deficiências e excessos de precipitação, do armazenamento de água no solo, tanto na escala diária como mensal.

### **Análise climática**

O estudo foi realizado através do levantamento dos principais elementos do clima, da pluviometria, da classificação climática, do balanço hídrico e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para a área da BHRUP. Para a caracterização climática foi utilizados dados meteorológicos climatológicos de precipitação, temperatura média, máxima e mínima, amplitude térmica, umidade relativa, cobertura de nuvens, insolação, intensidade do vento, a evaporação e evapotranspiração foram calculadas pelo método de Thornthwaite e Mather (1948; 1955).

As análises dos comportamentos das distribuições das precipitações ao longo dos meses do ano e entre anos foram realizadas utilizando-se a série do período de 1960-1990 para os 49 postos pluviométrico do município da área em estudo. As temperaturas foram estimadas pelo método de regressão linear múltipla, pelo software Estima\_T (Cavalcanti et al., 2006) Aos dados

de precipitação dos citados municípios foram aplicados tratamentos estatísticos para eliminação de falhas e distorções. O balanço hídrico foi desenvolvido por Medeiros (2013) em conformidade com as técnicas de Thornthwaite e Mather (1948; 1955).

A Tabela 1 demonstra as flutuações mensais dos elementos meteorológicos, precipitação; temperaturas médias; mínimas; máximas e amplitude térmica; umidade relativa do ar; insolação total; intensidade do vento; Nebulosidade; evapotranspiração potencial e evaporação real para a área estudada.

Tabela 1. Elementos climáticos, calculados, observados e estimados para a área da BHRUP.

PARÂMETROS/MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Temperatura máxima	29,8	29,7	31,2	31,1	31,9	32,2	32,7	34,3	35,3	34,4	32,1	30,6	32,1
Temperatura mínima	20,2	20,7	20,4	20,6	20,0	18,6	18,2	18,7	20,5	21,1	20,6	20,2	20,0
Temperatura média	25,0	25,2	25,8	25,9	25,9	25,4	25,5	26,5	27,9	27,8	26,4	25,4	26,1
Amplitude térmica	9,6	9,1	10,9	10,6	11,9	13,6	14,6	15,6	14,8	13,3	11,5	10,4	12,2
umidade relativa do ar	77,5	76,5	73,3	69,6	64,4	60,3	50,8	48,1	48,8	57,4	69,0	74,8	64,2
Insolação total	185,8	157,9	177,2	193,2	250,7	277,6	292,9	297,1	263,5	223,0	198,2	184,6	2701,8
Intensidade vento	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
Nebulosidade	0,72	0,68	0,66	0,58	0,43	0,29	0,28	0,28	0,36	0,52	0,61	0,68	0,51
Eapotranspiração	108,9	92,4	118,0	113,2	115,1	102,8	108,2	131,5	163,4	170,1	131,4	115,6	1470,7
Evaporação	155,3	131,9	168,6	161,6	163,8	146,8	154,6	187,8	233,3	243,0	187,7	165,2	2099,7
Precipitação	175,3	161,6	158,5	104,9	22,1	3,2	1,1	1,2	9,9	57,4	127,9	149,1	913,9

Fonte: Autor (2013)

## Resultados e Discussão

O período chuvoso inicia-se no mês de outubro com chuvas de pré-estação e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro, fevereiro tem um índice pluviométrico anual médio de 913,9 mm em 30 anos de observação na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (Figura 2). Os meses mais chuvosos estão compreendidos entre os meses de novembro a março e os meses com menores índices pluviométricos ocorrem entre maio a setembro. Os sistemas provocadores de chuvas na região em estudo são as formações dos aglomerados convectivos de mesoescala, contribuição dos Vórtices Ciclônicos quando a formação de seu núcleo se encontra no Oceano, penetração de vestígios de frentes frias, As contribuições dos Vórtices Ciclônicos do Atlântico Sul e Zonas de Convergência do Atlântico Sul.

As condições climáticas pluviométricas da região apresentam em seu ciclo anual períodos seco e chuvoso, sendo o período chuvoso mais longo e intercalado por um período de chuvas média e irregular. A estação seca, em geral, estende-se por cerca de cinco a seis meses do ano em períodos normais, ou às vezes mais longos em períodos de estiagem.

A Tabela 2 demonstra os valores da precipitação histórica; os máximos e mínimos valores das precipitações observadas para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI, o no período de 1960 a 1990.

Tabela 2. Valores médios mensais e anuais de pluviometria seguidamente dos máximos e mínimos valores de precipitação (mm) para a área de estudo

Parâmetros/Meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Precipitação histórica	175,3	161,6	158,5	104,9	22,1	3,2	1,1	1,2	9,9	57,4	127,9	149,1	913,9
Precipitação máxima	319,0	438,6	302,3	283,5	77,1	13,1	7,4	9,0	23,7	103,4	178,2	248,8	1851,6
Precipitação mínima	121,7	115,3	111,9	62,8	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,4	73,3	478,7

Fonte: Medeiros (2014).

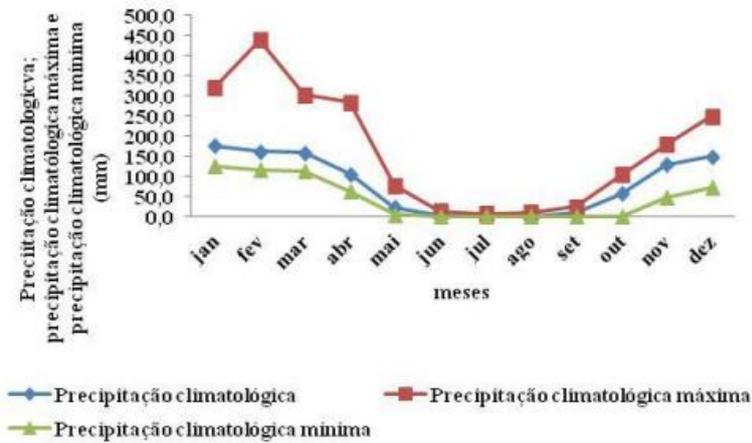


Figura 1. Precipitações pluviométricas médias climatológicas mensais; máximas e mínimas da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI, no período de 1960 a 1990. Fonte: Medeiros (2014).

A oscilação da temperatura máxima entre os meses oscilam entre 29,7 °C (fevereiro) a 35,3°C em setembro sua temperatura média máxima anual é de 32,1 °C, a temperatura mínima oscila entre 18,2 °C (julho) a 21,1 °C em outubro, com uma temperatura média mínima de 20 °C. A BHRUP apresenta uma temperatura média anual de 26,1 °C e sua oscilação mensal fluem entre 27,9 °C em setembro a 25 °C em janeiro, a amplitude térmica oscila entre 9,1 °C em fevereiro a 15,6 °C no mês de agosto sua amplitude térmica anual é de 12,2°C (Tabela 1).

Na Figura 2 constam a representação das médias das temperaturas mensal média, máxima das máximas, e da amplitude térmica do ar (°C) para a área da BHRUP. Observa-se que as variações das temperaturas média das máximas, máximas das máximas e mínimas das mínimas fluem acima dos padrões normais, ao passo que as máximas das máximas e as mínimas das mínimas seguem entre a normalidade da sua média.

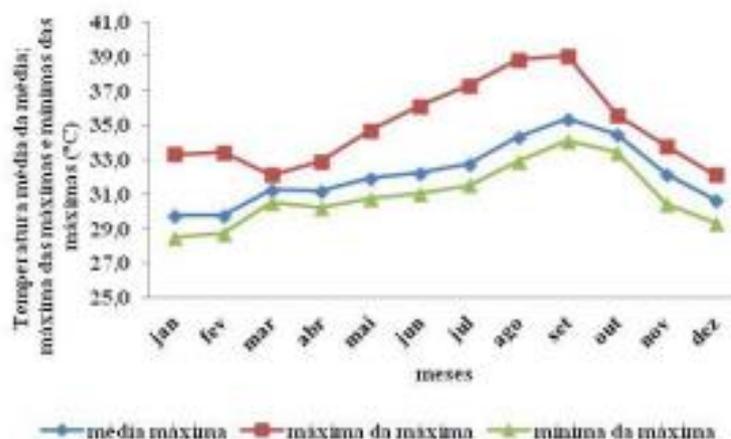


Figura 2. Representação das médias das temperaturas média mensais, máxima das máximas para a área da BHRUP. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 3 tem-se a variabilidade da amplitude térmica que mantém entre a normalidade e seu trimestre mais elevado ocorre entre os meses de julho, agosto e setembro.

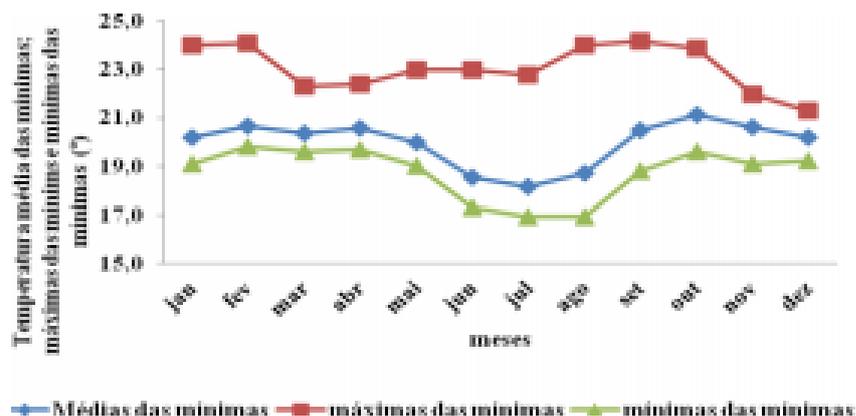


Figura 3. Representação das médias das temperaturas média mensais, mínima das mínimas para a área da BHRUP. Fonte: Medeiros (2014).

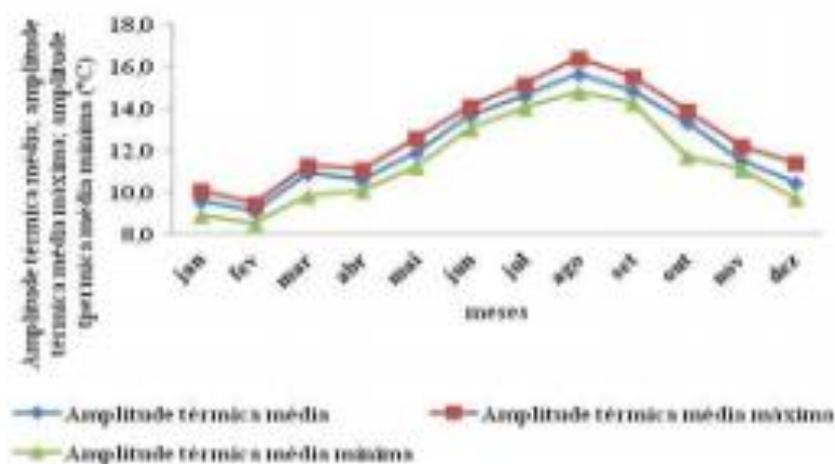


Figura 2. Representação das médias das amplitude térmica do ar (°C) para a área da BHRUP. Fonte: Medeiros (2014).

Os dados de quantificação da radiação solar são necessários para o desenvolvimento de estudos Agrometeorológico particularmente o seu efeito sobre o comportamento do desenvolvimento vegetal no que se refere à fotossíntese, evapotranspiração, fisiologia de plantas e desenvolvimento de pragas e doenças. Mais recentemente, o dado sobre radiação solar vem sendo avaliados com grande interesse quanto a seus efeitos adversos sobre plantas, animais e seres humanos, causados pela radiação ultravioleta em função da redução da camada de ozônio (Barret e Curtis, 1992).

Devido à sua posição geográfica, os raios solares incidem quase diretamente sobre a microbacia hidrográfica da área estudada durante todo o ano. A quantidade de insolação total que atinge a superfície do solo apresenta valor anual de 2.701,8 horas, as maiores incidência de insolação total ocorrem nos meses de maio a outubro com oscilações entre 223 a 297,1 horas  $mês^{-1}$  os menores valores de insolação total ocorrem nos meses de fevereiro e março com 157,9 e 177,2 horas  $mês^{-1}$ . Na Figura 3a é possível observar que a insolação média máxima ocorra nos meses de julho e agosto e a insolação média mínima entre janeiro e março.

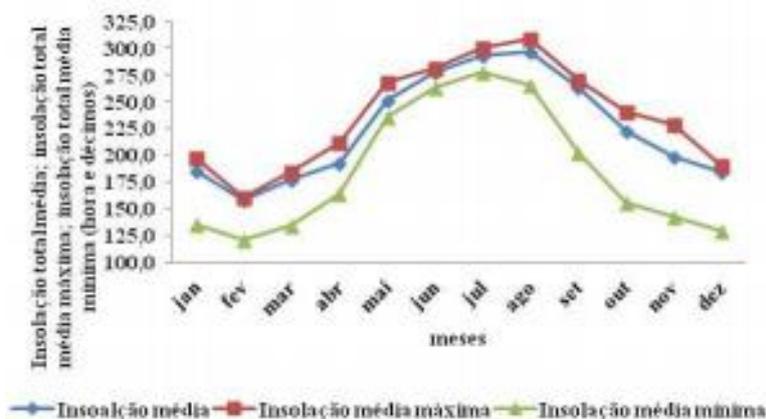


Figura 3a. Valores da insolação total média mensal para área de estudo.  
Fonte: Medeiros (2014).

A umidade relativa do ar média mensal oscila ao longo do ano em conformidade com a cobertura da nebulosidade. O quadrimestre mais úmido ocorre nos meses de dezembro a março com flutuação entre 73,3 a 77,5%, os meses com umidades relativas do ar menores são julho a setembro, e sua oscilação varia entre 48,1 a 50,8%, a umidade relativa do ar média anual na área da bacia do rio Uruçuí Preto é de 64,2% (Figura 3b). As umidades relativas do ar médias máximas ocorrem nos meses de dezembro a abril e a média da umidade relativa do ar mínima ocorre nos meses de agosto e setembro.

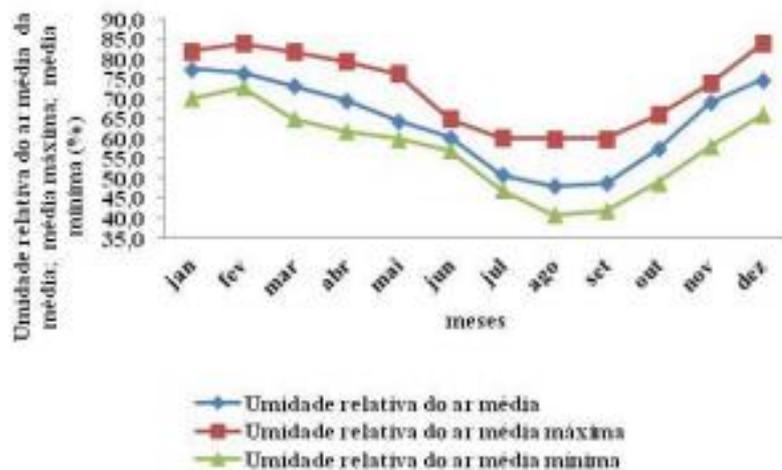


Figura 3b. Valores da umidade relativa do ar média mensal da área em estudo.  
Fonte: Medeiros(2014).

As temperaturas na região nordeste são elevadas, a umidade relativa do ar é baixa e as precipitações pluviométricas são inferiores a evapotranspiração potencial caracterizando um acentuado déficit hídrico. A evaporação real e evapotranspiração potencial foram estimadas a partir da fórmula de Thornthwaite e Mather (1955), por ser uma das equações que melhor explica o fenômeno na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI. Observa-se na Figura 4a a variabilidade da evapotranspiração potencial média, média da máxima e média da mínima, mês a mês, observa-se que nos meses de fevereiro, junho e julho ocorrem os menores índices de evapotranspiração e os seus maiores valores observados centra-se nos meses de agosto a outubro.



Figura 4a. Valores da evapotranspiração média mensal da área de estudo. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4b tem-se a distribuição da evaporação real com o trimestre mais elevado de evaporação os meses de agosto, setembro e outubro e os meses fevereiro, junho e julho com o poder de evaporação reduzido.

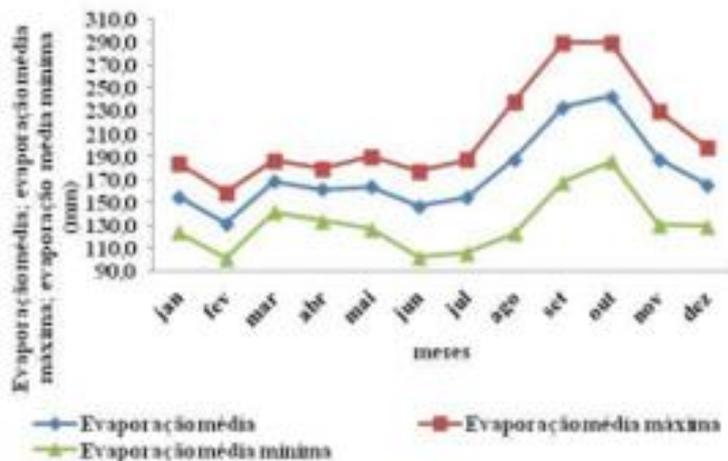


Figura 4b. Valores da evaporação real média mensal da área estudada da área de estudo Fonte: Medeiros (2014).

A área da BHRUP com uma série de precipitação observada de 30 anos apresenta uma média anual de 913,9 mm, a taxa anual de evapotranspiração potencial é de 1.548,9 mm praticamente uma vez e meia o valor da precipitação, a evaporação real é menor ao índice pluviométrico, ocorrem deficiência hídrica entre os meses de abril a novembro e os excedentes hídricos ocorrem nos meses de fevereiro e março.

A Tabela 3 e a Figura 5 mostram o balanço hídrico climático do período 1960-1990, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI. Observa-se que o regime de chuvas anual, com uma estação seca bem definida, (maio a outubro com oscilação nos seus índices de 1,1 a 57,4 mm/mês) associado a uma irregularidade na distribuição das chuvas durante a estação chuvosa com período de tempo entre 8 e 10 horas de chuvas descontinua diárias e à riqueza de nutrientes dos solos, em geral, exige um bom nível técnico para a produção agrícola, sendo recomendável a adoção de práticas de manejo que visem conservar a água no solo.

Tabela 3. Síntese do balanço hídrico climatológico normal. PREC = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial; EVR = Evaporação real; DEF = Deficiência hídrica; EXC = Excedente hídrico

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,0	175,3	113,9	113,9	0,0	0,0
Fev	25,2	161,6	108,6	108,6	0,0	38,4
Mar	25,8	158,5	128,8	128,8	0,0	29,6
Abr	25,9	104,9	123,0	121,4	1,5	0,0
Mai	25,9	22,1	125,7	75,9	49,7	0,0
Jun	25,4	3,2	110,6	22,7	87,9	0,0
Jul	25,5	1,1	115,4	8,0	107,4	0,0
Ago	26,5	1,2	134,7	3,5	131,2	0,0
Set	27,9	9,9	160,2	10,6	149,6	0,0
Out	27,8	57,4	166,3	57,5	108,8	0,0
Nov	26,4	127,9	136,5	127,9	8,6	0,0
Dez	25,4	149,1	125,2	125,2	0,0	0,0
TOTAIS	312,6	1174,7	1548,9	904,1	644,8	68,0
MÉDIAS	26,1	913,9	129,1	75,3	53,7	5,7

Observa-se na Figura 5 que os excedentes ocorrem nos meses de fevereiro e março, enquanto que a retirada da água no solo ocorre entre os meses de abril ao início de agosto, as deficiências hídricas ocorrem da segunda quinzena de maio e prolonga-se até a primeira quinzena de novembro, e as reposições das águas no solo ocorrem entre os meses de dezembro a fevereiro.

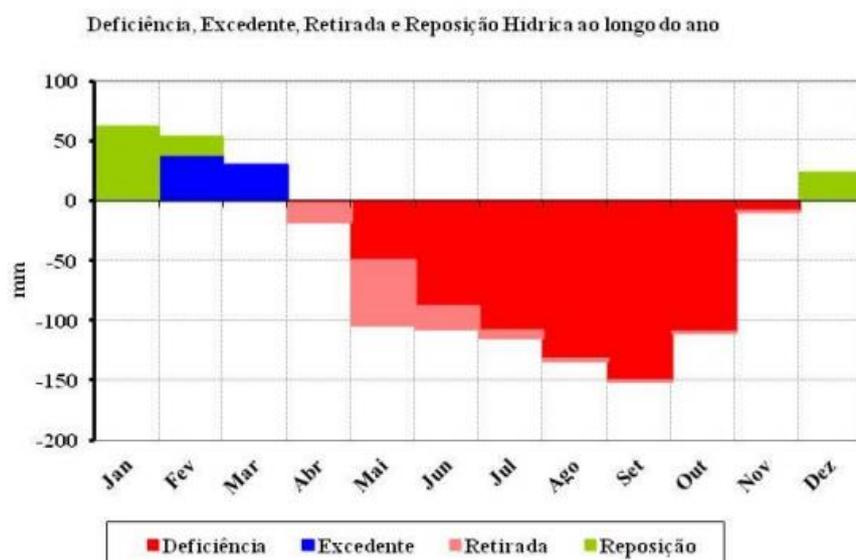


Figura 5. Balanço hídrico climático médio para a área da BHRUP Capacidade de água disponível (CAD) de 100mm.  
Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Os diagnósticos concretizados neste estudo representam uma aproximação das potencialidades da área da BHRUP, em termos de clima, recursos hídricos e das reais necessidades de água para as principais atividades de importância econômica.

A área de estudo não apresenta restrições de temperatura para a maioria dos cultivos adotados, mas o regime de chuvas, com uma estação seca bem definida (maio a outubro), associado a uma distribuição das chuvas durante a estação chuvosa com duração de tempo entre 8 a 10 horas de chuva descontínua diárias (novembro a abril) e a fertilidade de nutrientes dos solos, em geral, não exigem alto nível técnico para a produção agrícola de plantio direto, sendo recomendável a adoção de práticas de manejo que visem conservar a água no solo. Redução de água de chuva nos meses de maio a outubro limita o uso da terra e que os proprietários podem usar água irrigada, tornando viável alguns tipos de cultivo nessa época do ano.

As águas subterrâneas são suficientes e apresentam quantidade e qualidade satisfatória para uso doméstico e para outros fins. No entanto, a agricultura praticada é a de cerqueiro e a de plantio direto, pois o uso da água subterrânea é utilizado como poço artificial para abastecimento de água doméstica e de pequenos núcleos para irrigação familiar. Esse quadro mostra a necessidade da intervenção do poder público para a implementação de uma política de gestão, de forma que a população desta área possa desfrutar desse recurso de forma sustentável.

**VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E A INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS EL NIÑO E LA NIÑA**

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
José Ivaldo Brbosa de Brito  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

As atividades humanas carecem de recursos ambientais para promover sua sobrevivência e a água pode ser considerada o recurso mineral mais usado para atender às necessidades econômicas e sociais de uma região. Os diferentes tipos de uso da água e o aumento do número de usuários implicam em diferentes conhecimentos da qualidade e disponibilidade deste recurso.

A precipitação é a variável climática com a maior variabilidade no tempo e no espaço. Por essa razão, o estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima anual esta relacionado com danos severos as atividades humanas em quase todas as regiões do mundo, devido a seu potencial em causar saturação hídrica do solo, escoamento superficial e erosão em conformidade com IPCC (2007) e Tammets e Jaagus (2013).

A água é um bem vital para que haja um desenvolvimento social e econômico desta região. A insegurança causada pelo fornecimento de água nessa região tem incentivado os governantes e particulares a investir em técnicas e estudos para tentar solucionar esses problemas. Segundo Cirilo (2012) é fato que grandes esforços vêm sendo empreendidos com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação.

A precipitação é fundamental para a caracterização climática (Ferreira da Costa, 1998), e o seu monitoramento tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, por exemplo, são essenciais para estudos como os de D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio (2007) e Coe et al. (2009), que concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e na precipitação.

A precipitação pluviométrica no Nordeste Brasileiro é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos, como a Zona de Convergência Intertropical (Uvo, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (Kousky e Gan, 1981), os Sistemas Frontais (Kousky, 1979), e os Distúrbios de Leste (Espinoza, 1996), que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacam-se o dipolo do Atlântico e o ENSO, que modificam a frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas, afetando diretamente a agricultura, a pecuária, irrigação e os recursos hídricos de acordo com Araújo et al. (2006).

Com base nesta precipitação irregular faz-se necessário o monitoramento através do emprego de índices climáticos, podendo-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos de secos ou chuvosos, com informações anuais, sazonais ou mensais, com as quais se podem conhecer profundamente a climatologia de uma região, e verificar os impactos que o clima global causa sobre a distribuição pluviométrica local, ou seja, a regionalização da precipitação para determinado local.

Segundo Duarte (2006) e Furlan (2009) mesmo com este grande potencial hídrico, a região ainda encontra-se muito desprovida de informações quanto à questão hidrológica, principalmente no que diz respeito ao monitoramento dos rios e da precipitação, pois são fatores chaves para subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos.

Estudar a variabilidade da precipitação é atualmente um desafio na área de recursos hídricos, sobretudo devido à grande relevância sobre as implicações da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, principalmente aquelas localizadas em áreas de transição entre cerrado e cerradão como a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

O estudo do comportamento espacial de um determinado elemento climático, como o da precipitação, é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura e para o planejamento das atividades agrícolas e, sobretudo para o gerenciamento dos recursos hídricos. A identificação de regiões homogêneas quanto aos padrões individual ou combinado de diferentes elementos meteorológicos tem sido uma prática habitual e desenvolvida por diferentes metodologias, seja pelo uso de técnicas de análise multivariada ou por geoestatística, com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas.

Segundo Kousky et al. (1984), a Oscilação Sul (OS) é uma oscilação na pressão ao Nível Médio do Mar no Oceano Pacífico e ela é negativamente correlacionada entre as estações de Darwin (Austrália) e do Tahiti. A Fase Positiva da OS ocorre quando tanto o centro de baixa pressão da Indonésia como a Alta Subtropical do Pacífico Leste estão mais fortes que a média. Isto causa uma mudança na circulação atmosférica em grande escala e esse fenômeno é conhecido como El-Niño.

Segundo Minuzzi et al. (2007) o Índice Niño de Oscilação Sul (ENOS) refere-se a variação irregular que ocorre em torno das condições normais nas componentes oceânicas (El Niño) e atmosféricas (Oscilação Sul) da região, revela duas fases opostas do fenômeno, sendo um desses extremos representado pelas condições de La Niña, quando ocorre um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (também denominada fase fria ou fase positiva).

A água é um componente sumamente importante em quase todos os setores da atividade humana. O planejamento e a gestão dos recursos hídricos surgiram com o intuito de diminuir os conflitos pelo uso da água, ocasionados pelo rápido crescimento populacional e da crescente expectativa de melhor qualidade de vida, conforme Matondo (2002).

Medeiros (2012) analisou a climatológica da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria e constatou que os índices pluviômetros são essenciais a sustentabilidade agroindustrial.

El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala caracterizado por anomalias no padrão de temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical que ocorrem de forma simultânea com anomalias no padrão de pressão atmosférica nas Regiões de Darwin (Austrália) e Taiti. A fase quente do fenômeno (EN) é caracterizada pela elevação da temperatura das águas da região oriental do Oceano Pacífico acima da média da região, juntamente com ocorrência de pressões atmosféricas abaixo da normal no Taiti e acima da normal em Darwin (Austrália). Na fase fria (LN) o comportamento das componentes oceânica e atmosférica é inverso (Grantz, 1991; Trenberth, 1991; Fontana e Berlato, 1997).

Desde o início do século XX, as relações entre El Niño, La Niña e precipitação vêm sendo estudadas. Inicialmente a busca baseava-se na caracterização qualitativa e, hoje, se busca quantificar a influência dos fenômenos. Impactos do fenômeno El Niño e La Niña têm sido observados nas diferentes regiões do país, mais intensamente nas regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil. Se o El Niño aumentar em frequência ou intensidade no futuro, o Brasil ficará exposto a secas ou enchentes e ondas de calor mais frequentes. Porém, a incerteza de que estas mudanças aconteçam ainda é grande e alguns extremos do clima podem acontecer independentemente da presença desses eventos (Marengo et al., 2007). Em algumas regiões é comprovado o efeito desses

eventos no clima, causando anomalias diversas inclusive sobre a região Nordeste do Brasil em conformidade com Xavier (2001).

As ocorrências simultâneas de El Niño e secas no NEB se limitam a alguns eventos específicos. Isso se deve ao fato de que a precipitação nessa região é também fortemente relacionada às anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSMs) do Atlântico Tropical (Kane, 1997).

Kayano e Andreoli (2006) mostraram que a variabilidade de precipitação no NEB está mais fortemente relacionada com as condições do Atlântico tropical do que com as do Pacífico tropical.

Eventos como La Niña têm sido associados à ocorrência de estações chuvosas mais úmidas que o normal no NEB e El Niño tem sido associados às ocorrências de estações mais secas que o normal no NEB.

A partir das informações da pluviosidade, é interessante efetivar-se um estudo sobre a variação dessa variável climatológica relacionando-a com fenômenos de grande escala El Niño e La Niña para se aprimorar informações a respeito das características climáticas do Estado da Paraíba.

Em anos de La Niña ocorrem alterações contrárias ao EL Niño no clima da região Nordeste e particularmente na área da BHRUP. Em anos, que este fenômeno tornase evidente, a estação chuvosa começa mais cedo e registra-se um aumento bastante significativo nos índices pluviométricos. Há um decréscimo nos valores médios mensais de temperatura e da insolação. Ocorre redução nos índices evaporativos, em relação aos anos normais, e conseqüentemente e contribui para aumeneto do armazenamento de água no solo, reduzindo-se, portanto as áreas com deficiências hídricas na bacia e em seu entorno (Brito et al., 1998).

Silva et al. (2011) destaca a importância das previsões climáticas como sendo uma ferramenta extremamente útil para ser usada em favor do desenvolvimento sustentável, visto que ajudará no manejo dos recursos naturais e, conseqüentemente, na qualidade de vida das pessoas, assim pesquisas que busquem compreender de uma forma mais aprofundada, como anomalias na temperatura da superfície do mar (ATSM) podem causar interferências nos padrões de circulação atmosféricas e, conseqüentemente, afetar o regime pluviométrico em determinadas regiões do globo terrestre.

Devido a dificuldade de obtenção de dados pluviométricos e uma série histórica mais representativa para estudos mais consistentes, muitas vezes é utilizada estação de dados em uma bacia e se considera que a precipitação é homogênea em toda a bacia. Em outros casos, se utiliza dados pluviométricos de estações fora dos limites da área de estudo. Para uma modelagem de variabilidade mais aprofundada é importante ter mais de um posto de coleta de dados na área e com a maior quantidade possível de dados nesta visão o trabalho tem como objetivo fundamental avaliar a climatologia da bacia hidrográficoado rio Uruçuí Preto - PI, como a variabilidade climática que influencia a precipitação local e regional na bacia e como ocorre a sua variabilidade espaço temporal das chuvas na área estudada, utilizando para isso da ferramenta do Índice de Anomalia de Chuva desenvolvido pelos núcleos de meteorologia estaduais do Nordeste e Centro de Previsão Tempo e Estudos Climáticos (INPE), também objetiva-se verificar mensalmente a frequência de precipitação durante um período de 30 anos e a influência dos fenômenos meteorológicos El Niño e La Niña nos índices pluviométricos da BHRUP.

## **Material e métodos**

Os dados de precipitações mensais históricos utilizados nesta pesquisa foram obtidos de uma série histórica de 30 anos (1960 a 1990), pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI). A Bacia hidrográfica situa-se entre as coordenadas geográficas que determinam o retângulo de 07°18'16" a 09°33'06" de latitude sul e 44°15'30" a 45°31'11" de longitude oeste

de Greenwich. Foram utilizados os seguintes dados de precipitação pluviométrica: totais mensais médios e anuais no período de 1960 a 1990 (30 anos). Foram desconsiderados como valores mínimos os totais mensais iguais à zero, considerando-se apenas aqueles que se encontravam no intervalo de 5 a 10mm. Para análise dos dados foi utilizado programa em planilhas eletrônicas para gerar as médias mensais e seus respectivos percentuais.

Utilizou-se, ainda da intensidade de eventos El Niño e La Niña baseada no padrão e magnitude das anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico Tropical e realizou-se a sua classificação conforme a intensidade dos eventos.

Foram calculadas as climatologias para a BHRUP e as médias temporais da precipitação para o período de estudo necessário para o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva, o qual serve para classificar os anos como secos ou úmidos, de acordo com a média local.

Utilizou-se o desvio percentual da seguinte forma

$$\text{Desvio Percentual} = ((\text{Prec. obs} - \text{Prec. Clima.}/\text{Prec. Clima.}) \times 100).$$

Prec. Obs = Precipitação observada

Prec. Clima = Precipitação climatológica Tabela 1. Critérios de classificação utilizados para classificar os municípios e as fazendas conforme classes do desvio percentual mensal e anual para a área da BHRUP

Critério de classificação	
Desvio Percentual	Classificação
± 0,0 A 25,0%	Normal
± 25,1 A 45,0%	Seco/Chuvoso
± 45,1 A 70,0%	Muito Seco/Muito Chuvoso
± 70,1 > 100,0%	Extremamente Seco/Extremamente Chuvoso

Fonte: CPTEC/INPE/núcleos de meteorologia (2010).

Para cada localidade, e utilizou-se dos critérios de classificação da Tabela 1, e realizaram-se as classificações climáticas conforme demonstrado na Tabela 2.

## Resultados e Discussão

A Figura 1 demonstra a climatologia da precipitação da BHRUP no período de 1960 - 1990. As chuvas nesta área iniciam-se no mês de outubro com chuva de pré-estação e prolonga-se até o mês de abril, tendo como quadrimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março e os meses mais secos oscilam de junho a setembro com variabilidade pluviométrica oscilando entre 1,1 a 9,9 mm, sendo estes índices pluviométricos insignificantes para o runoff e agricultura.

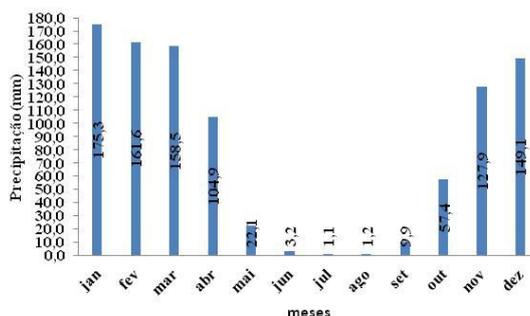


Figura 1. Precipitação Climatológica da BHRUP.

Fonte: Medeiros (2014).

Observa-se que o mês mais chuvoso é o mês de janeiro apresentando 18% de toda precipitação anual; e os meses menos chuvosos são julho e agosto, o qual apresenta 0% da precipitação anual. O período chuvoso de (outubro a março) representa 85% da precipitação anual, e no período seco 15% da precipitação anual. (Figura 2).

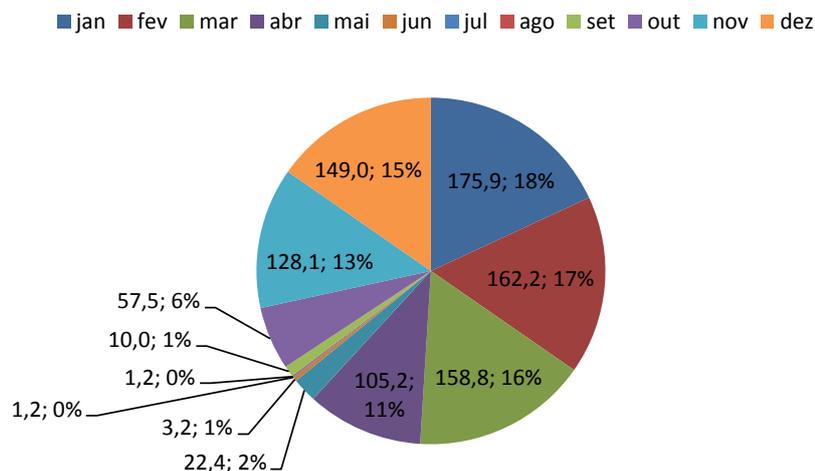


Figura 2. Distribuição mensal da precipitação e seus percentuais na BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 3 mostra o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva para a área da BHRUP. Entre os municípios e fazendas severamente seco destacamos Alvorada do Gurgueia, Avelino Lopes, Fazenda Vereda da Mata, Colônia do Gurgueia, Fazendas Barras, Fazenda Japécanga, Eliseu Martins, Manoel Emídio, Palmeira do Piauí, Redenção do Gurgueia, Riacho Frio e Santa Luz no qual apresentaram os maiores Índice de Anomalia de Chuva negativa. Após essa peculiaridade temporal observa-se a sequência de Índice de Anomalia de Chuva positivos com destaque para os municípios e fazendas mais chuvosos, Fazendas Jenipapeiro, Malhadinha, Melancia, Boa Vista, Galheira, Paus e Cachoeira e o município Santa Filomena.

Observam-se anos secos consecutivos, no entanto após esse “ponto de inflexão” houve uma diminuição na frequência de anos secos e aumento da severidade dos eventos. Esse ponto de inflexão na precipitação verificado em séries de Índice de Anomalia de Chuva locais também foi encontrado em Silva et al. (2007), no qual o fato foi explicado como consequência de ações antrópicas no local.

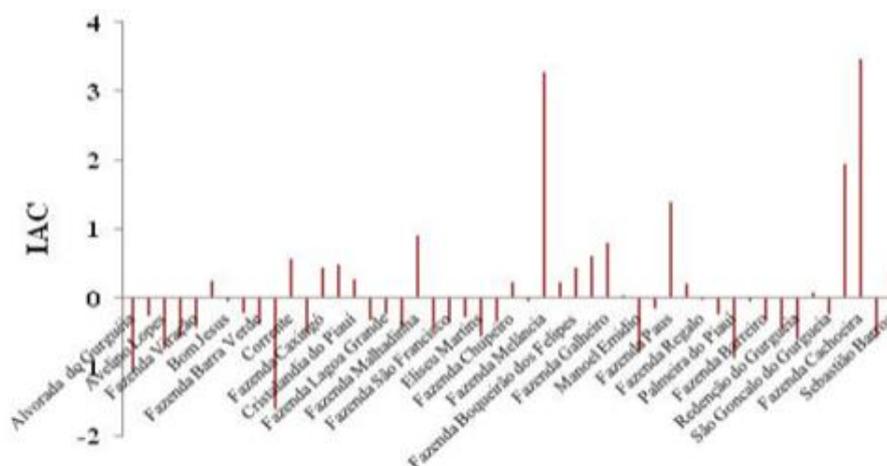


Figura 3. Cálculo do Índice de Anomalia de Chuva da área da BHRUP.  
Fonte: Medeiros (2014).

A partir dos critérios de classificações tomados com bases nos desvios percentuais da Tabela 2 classificaram-se os meses e ano dos municípios e das fazendas conforme Tabela 3, com oscilações de extremamente chuvoso a extremamente seco.

A Tabela 2 Representam as localizações dos postos pluviométricos e os municípios que estão alocados os referidos postos, seguidamente de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais.

Tabela 2. Representam as localizações dos postos pluviométricos e os municípios que estão alocados os referidos postos, seguidamente de suas coordenadas geográficas locais

Ordem	Posto	Município	Latitude ° ' "	Longitude ° ' "	Altitude metros
1	Alvorada Gurguéia	Alvorada Gurguéia	08 25	43 46	281,0
2	Alto Parnaíba - MA	Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220,0
3	Avelino Lopes	Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0
4	Fazenda Vereda da Mata	Avelino Lopes	10 22	43 58	500,0
5	Fazenda Viração	Avelino Lopes	09 53	43 54	430,0
6	Barreira do Piauí	Barreira do Piauí	09 57	45 29	500,0
7	Bom Jesus	Bom Jesus	09 04	44 21	220,0
8	Fazenda Conceição	Bom Jesus	08 46	44 24	390,0
9	Fazenda Barra Verde	Bom Jesus	09 18	44 31	260,0
10	Colônia do Gurguéia	Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200,0
11	Corrente	Corrente	10 26	45 09	434,0
12	Fazenda Barra	Corrente	10 03	45 04	490,0
13	Fazenda Caxingó	Corrente	10 31	45 13	500,0
14	Fazenda Jenipapeiro	Corrente	10 39	45 11	510,0
15	Cristalândia do Piauí	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600,0
16	Cristino Castro	Cristino Castro	08 48	44 13	220,0
17	Fazenda Lagoa Grande	Cristino Castro	08 33	44 32	320,0
18	Fazenda Japeganga	Cristino Castro	08 44	43 56	240,0
19	Fazenda Malhadinha	Cristino Castro	08 26	43 52	180,0
20	Curimatá	Curimatá	10 02	44 17	350,0
21	Fazenda São Francisco	Curimatá	10 28	44 03	600,0
22	Currais	Currais	09 00	44 24	320,0
23	Elizeu Martins	Elizeu Martins	08 12	43 23	210,0
24	Fazenda Puca	Elizeu Martins	08 03	43 39	280,0
25	Fazenda Chupeiro	Elizeu Martins	08 02	43 28	320,0
26	Gilbués	Gilbués	09 50	45 21	500,0
27	Fazenda Melancia	Gilbués	09 10	45 15	380,0
28	Fazenda Santa Maria	Gilbués	09 13	45 16	370,0
29	Faz. Boqueirão dos Felipes	Gilbués	09 45	45 40	580,0
30	Fazenda Bela Vista	Gilbués	09 42	45 23	520,0
31	Fazenda Galheiro	Gilbués	10 03	45 22	630,0
32	Júlio Borges	Júlio Borges	10 19	44 14	389,0
33	Manoel Emídio	Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0
34	Monte Alegre do Piauí	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454,0
35	Fazenda Paus	Monte Alegre do Piauí	09 33	44 41	280,0
36	Fazenda Vereda da Glória	Monte Alegre do Piauí	09 45	44 52	290,0
37	Fazenda Regalo	Monte Alegre do Piauí	09 47	45 02	520,0
38	Morro Cabeça no Tempo	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479,0
39	Palmeira do Piauí	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0
40	Parnaguá	Parnaguá	10 13	44 38	316,0
41	Fazenda Barreiro	Parnaguá	09 59	44 37	310,0
42	Fazenda Mocambo	Parnaguá	09 56	43 56	300,0
43	Redenção Gurguéia	Redenção Gurguéia	09 30	44 36	365,0
44	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0
45	São Gonçalo do Gurguéia	S. Gonçalodo Gurguéia	10 01	45 18	440,0
46	Santa Filomena	Santa Filomena	09 05	45 51	380,0
47	Fazenda Cachoeira	Santa Filomena	09 15	45 43	380,0
48	Santa Luz	Santa Luz	08 55	44 03	340,0
49	Sebastião Barros	Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0

**Tabela 3. Classificação climática mensal e anual dos municípios e fazendas que fazem parte da área da BHRUP.**

Ordem	MUNICÍPIO/MESES	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1	Alvorada do Gurgueia	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco	Ext. Seco
2	Alto Parnaíba	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco
3	Avelino Lopes	Seco	seco	seco	seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
4	Fazenda Vereda da Mata	Seco	seco	seco	seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
5	Fazenda Viração	Seco	Normal	Muito Seco	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
6	Barreiras do Piauí	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso
7	Bom Jesus	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
8	Fazenda Conceição	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco
9	Fazenda Barra Verde	Muito Seco	Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
10	Colônia do Gurgueia	Normal	Normal	Seco	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco	Ext. Seco	Ext. Seco	Ext. Seco
11	Corrente	Normal	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso	Muito Chuvoso	Ext. chuvoso
12	Fazenda Barras	Seco	Muito Seco	Seco	Muito Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
13	Fazenda Caxingó	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. chuvoso
14	Fazenda Jenipapeiro	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Ext. chuvoso
15	Cristalândia do Piauí	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Muito Chuvoso
16	Cristino Castro	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Normal	Ext. chuvoso
17	Fazenda Lagoa Grande	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	chuvoso	Muito Seco
18	Fazenda Japeganga	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco	Ext. Seco
19	Fazenda Malhadinha	Seco	Chuvoso	Ext. Chuvoso	Ext. Chuvoso	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Chuvoso
20	Curimatá	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
21	Fazenda São Francisco	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
22	Currais	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
23	Eliseu Martins	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Seco	Ext. Seco
24	Fazenda Puca	Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Ext. Seco
25	Fazenda Chupeiro	Seco	Normal	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso
26	Gilbués	Normal	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
27	Fazenda Melância	Chuvoso	Ext. Chuvoso	Normal	Muito Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso	Ext. Chuvoso	Ext. Chuvoso
28	Fazenda Santa Maria	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso
29	Fazenda Boqueirão dos Felipes	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Ext. Chuvoso
30	Fazenda Bela Vista	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso	Muito Chuvoso	Ext. Chuvoso
31	Fazenda Galheiro	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso	Chuvoso	Ext. Chuvoso
32	Júlio Borges	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
33	Manoel Enídio	Seco	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Muito Seco	Normal	Ext. Seco
34	Monte Alegre do Piauí	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
35	Fazenda Paus	Muito Chuvoso	Chuvoso	Ext. Chuvoso	Muito Chuvoso	Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Muito Chuvoso	Muito Chuvoso	Ext. Chuvoso
36	Fazenda Vereda da Glória	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Chuvoso
37	Fazenda Regalo	Normal	Normal	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
38	Moro Cabeça no Tempo	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco
39	Palmeira do Piauí	Normal	Seco	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco	Seco	Normal	Ext. Seco
40	Pamaguá	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
41	Fazenda Barreiro	Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
42	Fazenda Mocambo	Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Seco
43	Redenção do Gurgueia	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Ext. Seco
44	Riacho Frio	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
45	São Gonçalo do Gurgueia	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Seco
46	Santa Filomena	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	Muito Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso	Ext. Chuvoso
47	Fazenda Cachoeira	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	ext. Chuvoso	Muito Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Muito Chuvoso	Muito Chuvoso	Ext. Chuvoso	Ext. Chuvoso
48	Santa Luz	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Seco	Seco	Normal	Ext. Seco
49	Sebastião Barros	Muito Chuvoso	Muito Chuvoso	Muito Chuvoso	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Ext. Chuvoso

Fonte: Medeiros (2014).

Alves et al. (1997) compararam a variabilidade interanual e observaram que o setor norte do Nordeste Brasileiro apresentou um predomínio de chuvas abaixo da média do início até metade do século. Entretanto, para o setor leste do Nordeste, houve um maior número de períodos chuvosos deficientes (desvios negativos). A partir dos anos 50 até o início dos anos 90, em ambas as regiões, as chuvas foram acima da média (não levando em consideração alguns períodos de chuvas deficientes, tais como os anos de 1979 a 1983).

Os anos de ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña, foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC (2013), sendo os mesmos classificados em três categorias: forte, moderado e fraco. Esses fenômenos normalmente têm início nos meses de maio ou junho e atingem seus picos em dezembro e janeiro do ano seguinte, mesmo assim são identificados pelo ano em que iniciam. Sendo assim, foram considerados os anos subsequentes ao da ocorrência dos fenômenos, uma vez que sua influência se verifica no final do seu ciclo, nas chuvas da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto que acontecem de dezembro a março.

Na Tabela 4, são apresentados os anos que ocorrem os eventos de El Niño e o La Niña, observa-se que o ano de 1985 houve maior precipitação sendo um ano de ocorrência de La Niña, registrados na fazenda Paus e fazenda Cachoeira e o de menor índice pluviométrico foram os anos de 1982 e 1983 que foi um ano de El Niño, para os municípios de Corrente e Manoel Emídio. Esta flutuabilidade estar relacionado aos eventos de La Niña (anos com tendências de precipitações acima da média) e os eventos de El Niño (anos com tendências de precipitações abaixo da média) para região do Nordeste Brasileiro. Segundo Medeiros (2013), em todos os anos de acontecimento de El Niño cerca de 50% a 65% dos mesmos apresentaram chuvas abaixo da média para área estudada.

Tabela 4. Intensidade de eventos El Niño e La Niña baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical

Ocorrência de El Niño	El Niño Intensidade	Ocorrência do La Niña	La Niña Intensidade
1972 - 1973	Forte	1970 - 1971	Moderada
1976 - 1977	Fraco	1973 - 1976	Forte
1977 - 1978	Fraco	1983 - 1984	Fraco
1979 - 1980	Fraco	1984 - 1985	Fraco
1982 - 1983	Forte	1988 - 1989	Forte
1986 - 1988	Moderada	1995 - 1996	Fraco
1990 - 1993	Forte	1998 - 2001	Moderada
1994 - 1995	Moderada		
1997 - 1998	Forte		

Fonte: CPTEC/INPE (2013).

A Figura 4 mostra a distribuição anual de precipitação pluviométrica e a média histórica para a área da BHRUP, onde observar-se, o posto pluviométrico localizado na Fazenda Cachoeira de maior índice pluviométrico com uma precipitação de 1.851,6 mm, enquanto que o posto pluviométrico de Colônia do Gurguéia de menor índice com uma precipitação 478,7mm.

Em estudo realizado por Bezerra (2003), nas últimas duas décadas (80 - 90), vários cientistas demonstraram que as variações climáticas do fenômeno El Niño não ocorrem sozinho.

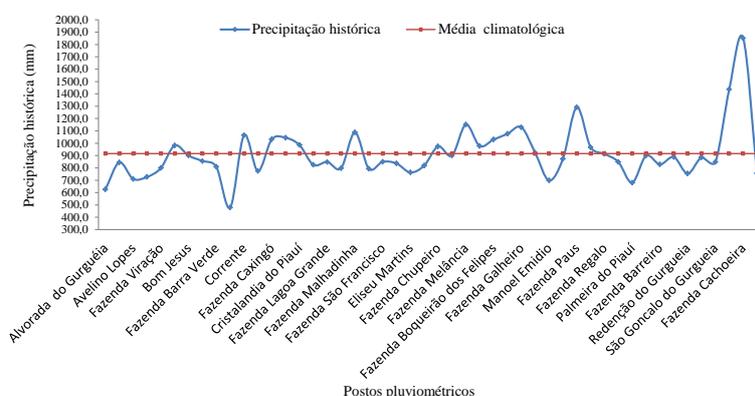


Figura 4. Variação da precipitação ao longo dos postos pluviométricos da área da BHRUP. Fonte: Medeiros (2014).

Em conformidade com Marengo e Silva Dias (2006) mostraram que o monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a falta de recursos hídricos acentua os problemas sócioeconômicos, em particular, no final de anos com totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da área de estudo.

## Conclusões

Verificou-se que o Índice de Anomalia de Chuva pode ser utilizado como ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, nesse caso a BHRUP, além de ser utilizado para regionalização, podendo também, através desse monitoramento gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local.

Analisando-se a climatologia da BHRUP percebeu-se semelhança entre o padrão de precipitação dos municípios e das fazendas. Os mesmos ainda apresentaram semelhança marcante nos anos secos e úmidos em comum, gerados pelo Índice de Anomalia de Chuva, Alvorada do Gurgueia, Avelino Lopes, Fazenda Vereda da Mata, Colônia do Gurgueia, Fazendas Barras, Fazenda Japicanga, Eliseu Martins, Manoel Emídio, Palmeira do Piauí, Redenção do Gurgueia, Riacho Frio e Santa Luz.

Na área da BHRUP, foi encontrado um “ponto de inflexão” na distribuição de precipitação. Foram observados anos secos consecutivos; no entanto após esses anos, houve uma redução na frequência de anos secos e aumento da severidade dos eventos.

A influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de secas ou enchentes na BHRUP ainda não está bem compreendida, onde se tem anos com atuação dos fenômenos atuantes e precipitação acima ou abaixo das climatológicas.

A distribuição da precipitação pluviométrica na área da BHRUP ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano, demonstrando que mesmo em anos de El Niño as chuvas ocorrem praticamente entre a normalidade.

As ocorrências de fenômenos sinóticos de largas escalas não impendem que o homem tanto rural com urbano possa realizar o armazenamento da água de chuvas e realizar sua roça de sobrevivência.

Com relação aos anos nos quais ocorreram o fenômeno La Niña, verificou-se pluviosidade acima da média em 25% do seu valor.

O El-Niño causa mudanças nos padrões de circulação atmosférica de grande escala, como as do Jatos Subtropicais, Frentes Frias, entre outras, afetando as massas de ar que influenciam nas chuvas da região sul do estado do Piauí.

Para uma eficiente gestão dos recursos hídricos e práticas agrícolas sustentáveis, o administrador deve acompanhar o monitoramento contínuo a esses sistemas de grande escala e buscar informações na previsão climática de longo prazo, realizadas pelos principais centros de meteorologia do País.

## ANÁLISES DAS OSCILAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DA PRECIPITAÇÃO

Raimundo Mainar de Medeiros  
JoséIVALDO Barbosa de Brito  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

O clima também exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano (Soriano, 1997). Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido), como o NEB e em especial o Estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, principalmente, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos segundo Paula et al. (2010). Dentre os elementos do clima de áreas tropicais, a precipitação pluviométrica é o que mais influencia a produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), principalmente nas regiões semiárida, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade e acordo com Santana et al. (2007), em função disto a sazonalidade da precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco a seis meses no período chuvoso em conformidade com Silva (2004).

Diversos autores avaliaram a tendência na precipitação observada no NEB durante o século XX. Por exemplo, Haylock et al. (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos e Britto (2007), utilizando índices de extremos climáticos e correlacionando-os com as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), também mostra tendência de aumento da precipitação total anual nos Estados da Paraíba e Rio Grande de Norte. Santos e Brito (2009) mostraram tendências de aumento de precipitação para o Estado do Ceará.

Silva et al. (2013) mostraram que o Estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. As precipitações pluviométricas apresentam grande variabilidade espacial e temporal, mostrando dois regimes chuvosos: no sul do Estado chove de novembro a março; no centro e norte, a estação chuvosa tem início em dezembro, prolongando-se até maio. Os índices pluviométricos variam entre 700 mm e 1.300 mm na região sul, entre 500 e 1.450 mm na região central e entre 800 e 1.680 mm no norte do Estado. Objetivou-se analisar as variabilidades pluviométricas municipais entre os diferentes regimes pluviométricos para o Estado do Piauí (regiões Norte; Central e Sul), e comprovar que se têm áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores. Na região Norte os índices pluviométricos têm uma distribuição mais regular que nas áreas Central e Sul, evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Devido à grande variação na pluviometria ao longo dos anos, pode-se observar que os fenômenos de macro, meso e micro escalas são de grande importância para os regimes de chuvas do Estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O balanço hídrico como unidade de geren-

ciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos de acordo com Lima (2009).

O conhecimento das condições climáticas de uma determinada região é necessário para que se possa estabelecer estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, almejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agropecuárias viáveis e seguras para os diversos biomas da região de acordo com Sousa et al. (2010).

Mendonça (2007) elucida que o sistema climático é formado por um conjunto de elementos altamente dinâmicos que interagem com os fatores geográficos do clima, existindo assim uma permanente troca de energia e interdependência.

Segundo Marengo (2012), a região NEB caracteriza-se naturalmente com alto potencial para evaporação da água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas. Isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

A precipitação e a variável climática com a maior variabilidade no tempo e no espaço. Por essa razão, o estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima anual esta relacionado com danos severos as atividades humanas em quase todas as regiões do mundo, devido a seu potencial em causar saturação hídrica do solo, escoamento superficial e erosão (IPCC, 2007; Tammets e Jaagus, 2013).

Nos dias atuais é perceptível a importância das pesquisas que envolvem o estudo do clima na busca da construção de novos parâmetros de conhecimento e consequente aplicação nas diversas atividades humanas (agricultura, represamento de água, agropecuário, economia, comércio, lazer, irrigação, hidrologia entre outras ciências) que dependem dos dados e informações cada vez mais concisos sobre chuvas, secas, temporais e eventos extremos, enfim informações de médio e longo prazo geradas com um alto grau de acerto segundo Viana (2010).

A distribuição da precipitação pluvial no nordeste brasileiro é bastante irregular no tempo e no espaço, além disso, as estações chuvosas ocorrem de forma diferenciada, em quantidade, duração e distribuição.

A pluviometria representa o atributo fundamental na análise dos climas tropicais, refletindo a atuação das principais correntes da circulação atmosférica. Na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto especificamente, as chuvas são fundamentais para o bom desenvolvimento do regime dos rios perenes, córregos, riachos, níveis dos lagos e lagoas, bem como para a ocupação do solo, sendo imprescindível ao planejamento de qualquer atividade o conhecimento da sua dinâmica e uma aplicabilidade deste elemento ao setor da irrigação, agropecuária e hidrológico.

A variabilidade climática de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas, especialmente na produção agrícola. Sendo o clima constituído de um conjunto de elementos integrados, determinante para a vida, este adquire relevância, visto que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Dentre os elementos climáticos, a precipitação tem papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, produzindo resultados na economia (Sleiman, 2008).

O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região, conforme Marengo e Silva Dias (2006).

A análise de tendências em séries históricas de precipitações é importante para verificar a variabilidade climática interanual e decenal para que assim sejam identificados como as mudanças climáticas podem modular estes padrões temporais de variabilidade.

Medeiros (2012) analisou a climatologia da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria e constatou que os índices pluviométricos são essenciais a sustentabilidade agroindustrial.

A precipitação é fundamental para a caracterização climática (Ferreira da Costa, 1998), e o seu monitoramento tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, por exemplo, são essenciais para estudos como os de D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio et al. (2007) e Coe et al. (2009), que concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e precipitação.

A irregularidade das chuvas e a baixa capacidade de armazenar os recursos hídricos comprometem a sustentabilidade da agricultura de sequeiro e da exploração dos rebanhos, que sofrem duras perdas nos períodos mais críticos, uma vez que, ao longo dos anos não se construiu uma infraestrutura para a convivência com o semiárido nem foram criadas políticas públicas para o desenvolvimento sustentável com a diminuição dos riscos e, conseqüentemente, com redução das vulnerabilidades.

O máximo de precipitações no sul da região do NEB está associado à penetração de frentes frias vindas do sul e que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro; já na região costeira o máximo de maio a julho está ligado à maior atividade de circulação de brisa, que advecta bandas de nebulosidade média para o continente e à ação das frentes frias remanescentes, que se propagam ao longo da costa leste do Piauí e na Costa Norte (Kousky, 1979).

Conforme Sant'anna Neto (2008), o estudo do clima e de seus impactos, numa perspectiva geográfica, deve atingir dois níveis: o da dimensão socioeconômica e o da ambiental. Na dimensão socioeconômica, compreende a influência dos fenômenos atmosféricos e dos padrões climáticos na estruturação do território e no cotidiano da sociedade, território esse que pode ser modificado em função da variabilidade decorrente das alterações climáticas.

As constantes mudanças no clima estão provocando aumento nas ocorrências de eventos climáticos extremos no mundo inteiro. No Brasil, esses eventos ocorrem, principalmente, como enchentes (fortes chuvas) e secas prolongadas (Marengo et al., 2010). No Nordeste do Brasil os impactos são ainda maiores devido à grande variabilidade na ocorrência de precipitação dessa região. Os principais sistemas responsáveis pela ocorrência de precipitação no NEB são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Linha de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Brisas (Marítima e Terrestres) e as Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios (POAS) conforme Molion e Bernardo (2002). O El Niño - Oscilação Sul (ENOS) é outro modo de variabilidade climática que influência na ocorrência de precipitação do NEB.

Segundo Brandão (2001), os impactos pluviais são, na maioria das vezes, enquadrados na categoria de eventos naturais extremos ou desastres naturais, dependendo de sua magnitude e extensão.

Segundo Tucci (2002), as definições utilizadas na literatura sobre alterações climáticas se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2001) define mudança climática como as mudanças temporais do clima devido à variabilidade natural e/ou resultados de atividades humanas. Outros autores, como Eerola (2003), Ichikawa (2004) e Sturm et al.

(2005) adotam, para o mesmo termo, a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente às atividades humanas que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período.

Dentre os elementos do clima, a precipitação é o que mais influencia na produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), especialmente nas regiões tropicais onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al., 2007). Por ser um elemento essencial na classificação climática de regiões tropicais, a precipitação e sua variabilidade associada a outros elementos do clima, provoca uma flutuação no comportamento geral dos climas locais. O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região (Marengo e Silva Dias, 2006).

Objetiva-se a análise das oscilações climatológicas da precipitação na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI, Brasil no período de 1960 a 1990. Este estudo é relevante, uma vez que a área estudada se caracteriza por possuir uma variabilidade dos índices pluviométricos e uma diversidade nos padrões de ocupação do solo, onde os impactos das precipitações têm grande influência na área estudada, eventos extremos prejudicam a questão sócio econômica local a agropecuária, a irrigação e a hidrologia.

## **Materiais e métodos**

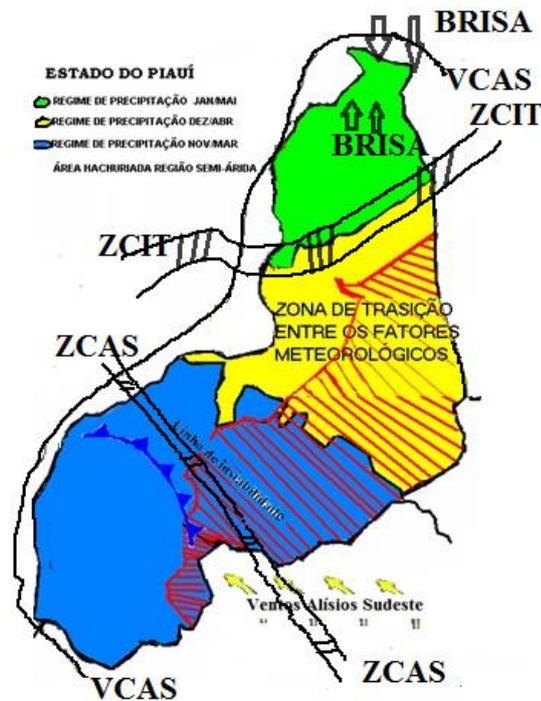
Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 2013) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

De modo geral, a precipitação no Piauí é causada por três tipos de perturbações sinóticas: na região sul o principal sistema causador de chuvas são penetrações de frentes frias e/ou seus vestígios, além da formação das linhas de instabilidade auxiliada pelos Vórtices Ciclônicos de Alto Níveis (VCAS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Linha de Instabilidade (LI) transportadas pelos ventos alísios de Sudeste/Nordeste, , troca de calor, vestígios de frentes frias quando das suas penetrações mais ativas, formações de aglomerados convectivos, orografia, contribuições de formação de vórtices ciclônicos, , e os efeitos locais, são fatores que aumentam o transporte de vapor da água e umidade e conseqüentemente a cobertura de nebulosidade. (Figura 1).

Os mecanismos climáticos que produzem as precipitações no estado do Piauí são excessivamente complexos e estão ligados às influências e à conjugação de vários sistemas de circulação atmosférica, agindo separadamente nas diferentes regiões do estado. A esses mecanismos que dependem diretamente da circulação atmosférica geral, se superpõem outros fatores, como a orografia e/ou a proximidade do mar (região norte do estado).

A sazonalidade das precipitações no Piauí é típica dos regimes tropicais, distinguindo-se dois grandes períodos:

- Um período chuvoso, que abrange o verão, sobretudo o outono, com início normalmente em novembro, prolongando-se até o mês de abril ou maio.
- Um período seco, que compreende os meses de inverno e primavera, com chuvas muito reduzidas e até mesmo ausentes nos meses mais secos.



**Figura 1.** Regimes e principais fatores provocadores de chuva no estado do Piauí. Fonte: Medeiros (2015).

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (de tempo regular e por volta de nove a dez horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. Sua magnitude é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos desativados. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a vinte (20) dias mensais no intervalo de tempo ocorrido dentro do quadrimestre conforme Medeiros (2014).

Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados em 30 anos, caracterizando um período de normal climatológica, onde, empregaram-se de programas eletrônicos, para extrair os valores das médias mensais, anuais, desvio padrão, coeficiente de variância da precipitação, máximos e mínimos valores absolutos de precipitação do período de 1960 a 1990.

Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados em 30 anos (1960 a 1990), caracterizando um período de normal climatológica, onde, empregou-se de programa eletrônicos, obtiveram-se os valores de médias mensais e anuais de temperatura e precipitação, imprescindíveis ao cálculo do balanço hídrico. A proeminência da estimativa do BHC para a área da BHRUP está pautada na importância que a água tem para o seu desempenho do armazenamento de água no solo, a sobrevivência humana, animal, agropecuária, lazer e a indústria.

A utilização de Pacote com planilhas eletrônicas para elaboração de gráficos com a variabilidade anual das precipitações, das anomalias pluviométricas, precipitação histórica e desvio percentual.

Conforme Meis et al. (1981), podem-se analisar as precipitações no decorrer do tempo de diferentes maneiras, possibilitando o reconhecimento do seu comportamento geral, dos seus padrões habituais e extremos.

Foi efetuada uma análise de frequência das distribuições dos totais anuais das chuvas mediante a elaboração dos gráficos. Utilizou-se a escala proposta por Meis et al. (1981), empregada por Xavier e Dornelas (2005), definida da seguinte forma: os valores anuais que mais se

aproximaram do valor médio, foram caracterizados como intermediários, e os valores de precipitação anual que se afastaram da média foram considerados como representativos para os anos mais secos e mais úmidos. Utilizou-se uma escala de variação de 25% em relação à média para os meses intermediários; valores acima da escala caracterizaram-se como anos muito chuvosos, e os abaixo dos 25%, anos secos (Xavier e Dornelas, 2005).

## Resultados e discussão

Na Figura 1 observa-se o comportamento da precipitação em termos de médias mensais históricas e os valores máximos e mínimos absolutos registrados na BHRUP no período 1960-1990. A média dos totais mensais de chuva variou entre 1,2 mm nos meses de julho e agosto a 175,9 mm no mês de janeiro. O quadrimestre mais chuvoso são os meses de dezembro (149 mm), janeiro (175,9 mm), fevereiro (162,2 mm) e março (158,8 mm). Os valores mínimos absolutos de chuvas ocorreram nas seguintes fazendas Lagoa Grande; São Francisco; Viração e Barreiras. Os valores máximos absolutos de ocorrências de chuvas registrados na área de estudos foi no município de Corrente e nas fazendas Caxingó; Melancia; Paus e Cachoeira, demonstrando com isto a variabilidade espacial e temporal com grande irregularidades entre anos.

O período chuvoso inicia-se no mês de outubro com chuva de pré-estação e prolonga-se até o mês de abril, o que se destaca é a frequência de irregularidade nas distribuições dos índices pluviométricos entre meses e anos.

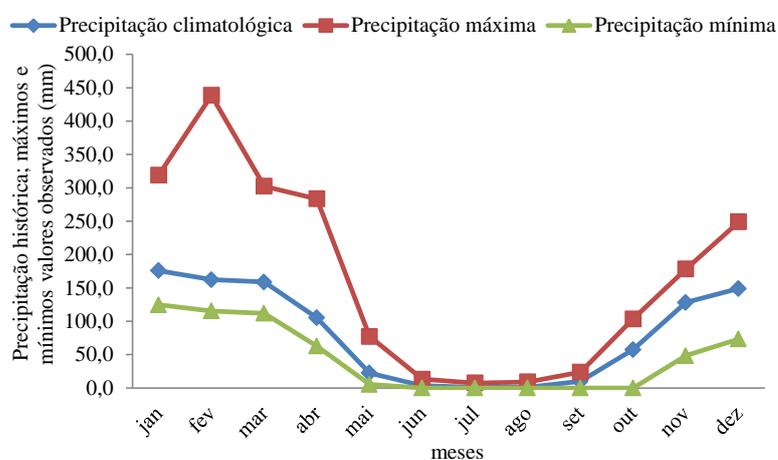


Figura 1. Precipitação pluviométrica histórica mensal e os máximos e mínimos valores ocorridos na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI no período 1960-1990.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2, observa-se a variação dos totais anuais das chuvas históricas para o período de 1960 a 1999 para os 49 postos pluviométricos que cobre a BHRUP, onde se pode constatar que a média anual histórica é de 916 mm com 31 anos de observações. Durante o período analisado ocorreu grande variabilidade dos totais anuais de chuva podendo esta variabilidade ser observada no município de Corrente e na fazenda Cachoeira onde apresentaram os maiores e menores índices pluviométricos.

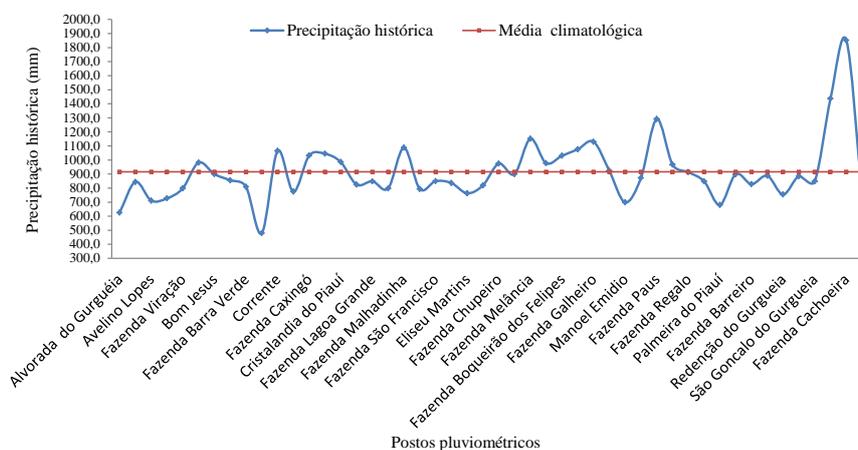


Figura 2. Precipitação pluviométrica anual na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI no período de 1960 a 1990. Fonte: Medeiros (2014).

As oscilações da chuva se estabelecem em uma das características principais do regime pluviométricos na área da BHRUP. Tratando-se de uma área onde se distinguem dois tipos climáticos o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco. Possuindo uma pluviosidade irregular, com sua magnitude alterando-se intermunicípios. Na Figura 3, observa-se a distribuição da precipitação anual entre os anos de 1960 a 1990, em que a média anual histórica foi de 916 mm. Os índices de precipitação oscilam entre 478,7 a 1.436,9 mm ocorreram entre os quarenta e nove locais estudados. Os locais que apresentaram os maiores índices pluviométricos foram Santa Filomena com 1.436,9 mm, fazenda Paus com 1.291,4 mm e fazenda Melancia com 1.150,9 mm e fazenda Galheiro com 1.129,8 mm os menores índices pluviométricos foram registrados nos seguinte locais Manoel Emídio 698,2 mm, Palmeira do Piauí com 680,2 mm, Alvorada do Gurgueia com 625,3mm e Colônia do Gurgueia com 478,7 mm.

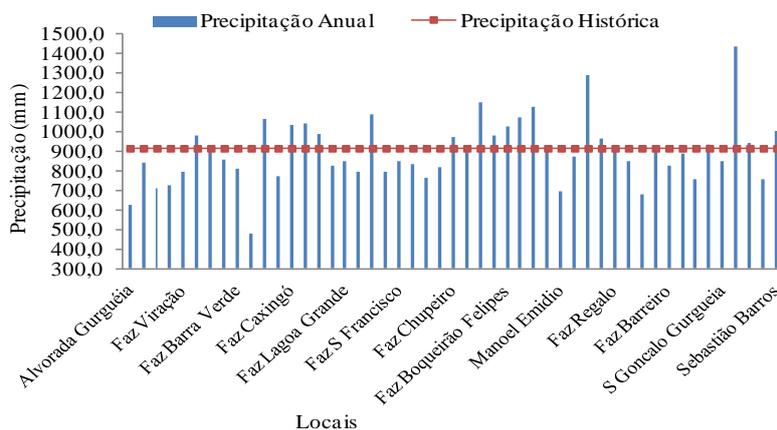


Figura 3. Distribuição temporal da precipitação anual e da média histórica na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI. Fonte: Medeiros (2014).

O Diagnóstico da variabilidade dos índices pluviométricos na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto indica uma leve tendência de decréscimo desses totais anuais ao longo dos 30 anos, com um decréscimo de  $0,1 \text{ mm.ano}^{-1}$ , totalizando 100 mm em toda a série. Contudo, não é possível afirmar que se trata de alguma mudança climática, pois, como já se mencionou anteriormente, a variabilidade pluviométrica pode alterar essa tendência nos próximos anos.

A expressiva variabilidade pluviométrica que ocorre na área em estudo resulta em observáveis desvios anuais. Como se observa na Figura 4, durante os 30 anos, o que apresentou o

maior índice anual foram os referidos locais Santa Filomena; Corrente, e as Fazendas: Paus; Galheiro; Melancia; Bela Vista e Malhadinha resultando em uma variação positiva em relação à normal superior aos 30%. Os mais secos registrados em toda a série são Alvorada do Gurguéia; Avelino Lopes; Fazenda Vereda da Mata. O fenômeno El Niño, que ocorreu nos anos de 1997/1998, influenciou na redução considerável das chuvas nesses anos, uma vez que, em anos de El Niño, se observa uma diminuição dos totais pluviométricos na região Nordeste, provocando, em alguns anos, secas severas.

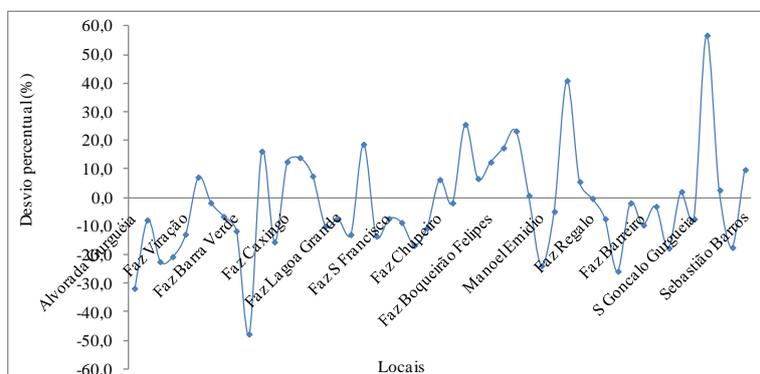


Figura 4. Desvio percentual anual da precipitação em relação à média histórica para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI.  
Fonte: Medeiros (2014).

De acordo com Oliveira (2001), as intensidades dos eventos variam bastante de caso a caso, sendo o El Niño mais intenso, desde as observações de TSM, os de 1982/1983, 1993 e 1997/1998.

Na Tabela 1, encontram-se os valores da precipitação total anual, as médias históricas, o desvio percentual, anomalias pluviométricas e suas respectivas classificações para o período de 1960 a 1990. A variabilidade também foi expressa na caracterização do ano normal, seco, chuvoso, muito seco, muito chuvoso, extremamente seco e extremamente chuvoso de acordo com o desvio em relação à média, como observado na Tabela 1. No total dos 49 locais observados, tem-se que 43 locais foram classificados com chuvas normais, Colônia do Gurguéia classificado como muito seco; Palmeira do Piauí com classificação seca, o município Santa Filomena foi classificado como muito chuvoso, ao passo que Alvorada do Gurguéia e as fazendas Melancia e Paus classificadas como chuvosa. A análise da distribuição das chuvas na área em estudo demonstrou ligeira tendência de redução desses totais anuais ao longo dos 30 anos estudados.

Sendo a série amostral um período de dados com grande significância, possuindo um período de 30 anos, é necessário que seja ampliada a série dos dados durante a segunda década do século XXI, para uma avaliação futura mais precisa; com isso, sugere-se uma continuidade dessas análises nos anos subsequentes.

Tabela 1. Locais, índices pluviométricos anuais; precipitação histórica; desvio percentual, anomalia da precipitação e classificação anual do período de (1960 – 1990), segundo método proposto por Meis et al. (1981)

Locais	Precipitação Anual (mm)	Precipitação Histórica (mm)	Desvio Percentual (mm)	Anomalia Precipitação (mm)	Classificação
Alvorada Gurguéia	625,3	916	-31,7	-290,7	Seco
Alto Parnaíba	844,4	916	-7,8	-71,6	Normal
Avelino Lopes	710,9	916	-22,4	-205,1	Normal
Faz Vereda Mata	726,9	916	-20,6	-189,1	Normal
Faz Viração	798,6	916	-12,8	-117,4	Normal

Barreiras do Piauí	981,9	916	7,2	65,9	Normal
Bom Jesus	899,6	916	-1,8	-16,4	Normal
Faz Conceição	855,9	916	-6,6	-60,1	Normal
Faz Barra Verde	809,3	916	-11,6	-106,7	Normal
Colônia Gurguéia	478,7	916	-47,7	-437,3	Muito Seco
Corrente	1064,7	916	16,2	148,7	Normal
Faz Barras	774,2	916	-15,5	-141,8	Normal
Faz Caxingó	1031,6	916	12,6	115,6	Normal
Faz Jenipapeiro	1044,3	916	14,0	128,3	Normal
Cristalândia PI	985,3	916	7,6	69,3	Normal
Cristino Castro	825,1	916	-9,9	-90,9	Normal
Faz Lagoa Grande	848,4	916	-7,4	-67,6	Normal
Faz Japeganga	797,9	916	-12,9	-118,1	Normal
Faz Malhadinha	1087,3	916	18,7	171,3	Normal
Curimatá	793,0	916	-13,4	-123,0	Normal
Faz S Francisco	849,2	916	-7,3	-66,8	Normal
Currais	836,4	916	-8,7	-79,6	Normal
Eliseu Martins	763,1	916	-16,7	-152,9	Normal
Faz Puca	819,4	916	-10,6	-96,6	Normal
Faz Chupeiro	974,0	916	6,3	58,0	Normal
Gilbués	899,3	916	-1,8	-16,7	Normal
Faz Melancia	1150,9	916	25,6	234,9	Chuvoso
Faz Santa Maria	977,1	916	6,7	61,1	Normal
Faz Boqueirão Felipes	1030,1	916	12,5	114,1	Normal
Faz Bela Vista	1075,7	916	17,4	159,7	Normal
Faz Galheiro	1129,8	916	23,3	213,8	Normal
Júlio Borges	923,1	916	0,8	7,1	Normal
Manoel Emídio	698,2	916	-23,8	-217,8	Normal
Monte Alegre PI	871,7	916	-4,8	-44,3	Normal
Faz Paus	1291,4	916	41,0	375,4	Chuvoso
Faz Vereda Glória	967,3	916	5,6	51,3	Normal
Faz Regalo	913,6	916	-0,3	-2,4	Normal
Morro Cabeça Tempo	848,3	916	-7,4	-67,7	Normal
Palmeira do Piauí	680,2	916	-25,7	-235,8	Seco
Parnaguá	898,9	916	-1,9	-17,1	Normal
Faz Barreiro	828,3	916	-9,6	-87,7	Normal
Faz Mocambo	888,0	916	-3,1	-28,0	Normal
Redenção Gurgueia	754,4	916	-17,6	-161,6	Normal
Riacho Frio	935,4	916	2,1	19,4	Normal
Gonçalo Gurgueia	847,5	916	-7,5	-68,5	Normal
Santa Filomena	1436,9	916	56,9	520,9	Muito chuvoso
Faz Cachoeira	940,5	916	2,7	24,5	Normal
Santa Luz	756,6	916	-17,4	-159,4	Normal
Sebastião Barros	1005,8	916	9,8	89,8	Normal

Fonte: Medeiros (2014).

Em relação às anomalias (Figura 5), encontrou-se uma predominância anomalias negativas, que apresentaram uma variação negativa em relação à normal. As anomalias negativas, no período, foram encontradas em 27 anos, e as anomalias positivas, em 21 anos. Quanto à análise realizada, esta permitiu identificar os meses mais chuvosos e secos, apresentando, também,

os meses mais variáveis e, por isso, difíceis quanto à previsão bem como à probabilidade de recorrência no decorrer do tempo.

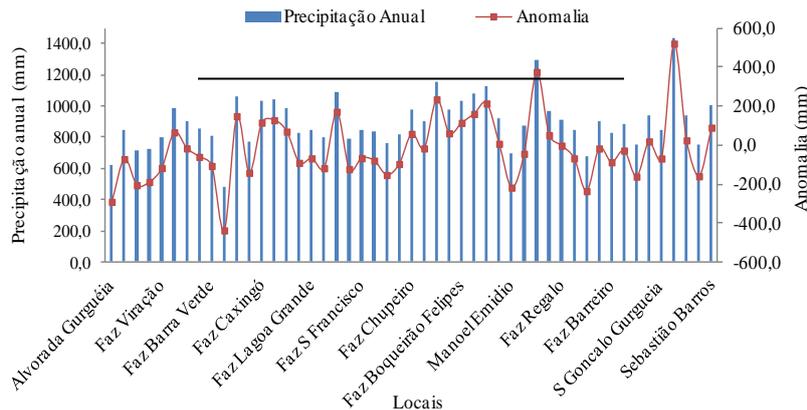


Figura 5. Precipitação anual, média histórica e anomalias para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto os índices pluviométricos mensais são bastante variável na sua distribuição espacial e temporal ao longo dos anos. O quadrimestre mais chuvoso são os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março com totais mensais médios oscilando entre 149 a 175,9mm.

Os meses de maio a setembro considerados os mais secos seus índices pluviométricos fluem entre 1,2 a 22,4 mm, apresentando uma média anual de 916mm com 31 anos de observações.

Durante os 31 anos estudados os totais anuais extremos de precipitação pluviométrica foram registrados nas fazendas Paus e Cachoeiras e os mínimos foram registrados nos municípios de Corrente e Palmeira do Piauí, estes extremos dão decorrentes dos fenômenos de larga escala atuante durante o período estudado.

Os resultados alcançados revelar tendências de reduções dos índices pluviométricos, mesmo com oscilações das precipitações ao longo da série amostral, que compreendeu os 30 anos (1960 a 1990); Foi evidenciada a recorrência de valores máximos de precipitação anual dentro de um intervalo de 17, 13 e 9 anos.

Utilizando o teste de significância estatística t de Student, foi observado que os dados de precipitação são, de modo geral, 99% significativos.

Sugere-se um estudo com uma série de maiores anos para que possam verificar-se as flutuações e as contribuições dos fenômenos El Niño e La Niña em toda a área de estudo.

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES ANUAIS, MÁXIMAS E MÍNIMAS**

Raimundo Mainar de Medeiros  
Hudson Ellen Alencar Menezes  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

A precipitação pluviométrica é considerada uma variável climatológica importante na região semiárida do Brasil, devido principalmente a irregularidade na sua distribuição temporal e espacial, sendo considerado um dos fatores limitantes ao maior desenvolvimento e a estabilização da produção agrícola, conforme Moraes (2005).

A precipitação e a variável climática com a maior variabilidade no tempo e no espaço. Por essa razão, o estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima anual esta relacionado com danos severos as atividades humanas em quase todas as regiões do mundo, devido a seu potencial em causar saturação hídrica do solo, escoamento superficial e erosão, segundo o IPCC, (2007) e de conformidade com Tammets e Jaagus, (2013).

Historicamente a região Nordeste sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Ocorrem com uma frequência de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos de acordo com os autores Marengo e Valverde (2007).

A precipitação pluvial tem sido bastante estudada em diferentes regiões do mundo, em face de sua importância no ciclo hidrológico e a manutenção dos seres vivos no planeta. As secas constituem sério problema para a sociedade humana e para os ecossistemas naturais (Din-pashoh et al., 2004).

A variação espacial e temporal são características próprias do tempo e clima. A variação temporal é uma característica que deve ser estudada com maior particularidade e em diferentes escalas cronológicas. Pois estes estudos permitirão o conhecimento do clima no passado, presente e até mesmo realizar prognósticos e diagnósticos para situações climáticas futuras a partir de modelos matemáticos utilizados, de acordo Fernando (2008).

Dentre os elementos do clima, a precipitação é o que mais influencia na produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), especialmente nas regiões tropicais onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al. 2007). Por ser um elemento essencial na classificação climática de regiões tropicais, a precipitação e sua variabilidade associada a outros elementos do clima, provoca uma flutuação no comportamento geral dos climas locais. O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região segundo os autores Marengo e Silva Dias (2006).

A caracterização das chuvas intensas é imprescindível para solucionar problemas de interesse da engenharia, de modo especial o controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais conforme Santos et. al. (2010). O processo erosivo e sua intensidade dependem principalmente das condições climáticas da região, fatores relacionados à topografia, cobertura do solo e às propriedades do mesmo, de conformidade com Gonçalves (2002).

A produtividade agrícola depende de um conjunto de fatores que incluem o clima, o solo, vento e o potencial genético das culturas, dentre os quais, o clima irá definir a produtividade final devido à sua variabilidade sazonal e interanual. O balanço energético constitui importante

instrumento para a tomada de decisões relativas à adoção de novas técnicas e manejos agrícolas, com potencial para economizar energia e aumentar a eficiência dos insumos, reduzindo custos em sistemas de produção em conformidade com Campos e Campos (2004).

A variabilidade com que os totais anuais de chuva se sucedem, retratam o ritmo climático que está intimamente relacionado ao mecanismo da circulação atmosférica regional, devido às irregularidades espaciais e temporais na distribuição das chuvas.

A compreensão do ritmo climático se completa com a análise do regime pluvial, ou seja, da distribuição mensal das chuvas. Embora a área estudada tenha uma distribuição irregular de chuvas durante o ano, dois períodos se destacam, definindo um limite zonal bem marcante entre seco e chuvoso e vice-versa.

A variabilidade climática anual já é bem caracterizada; possui ritmo pendular com a alternância de estações quentes e frias nas zonas moderadas, e secas e úmidas nas zonas tropicais, mas há certos períodos nos quais se observa ruptura deste ritmo. Em uma escala interanual e mundial, se distinguem os fenômenos El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria), também conhecidos como ENSO (El Niño/Southern Oscillation) caracterizado por irregularidades da temperatura da superfície de águas do oceano Pacífico, que influenciam a circulação atmosférica e alteram as precipitações e a temperatura em diversos lugares do mundo. O aquecimento e o subsequente resfriamento em episódio típico de ENSO podem durar de 12 a 18 meses (Trenberth, 1997). Em geral, este fenômeno tem consequências de grande amplitude e se produzem a intervalos irregulares.

A precipitação pluviométrica no Nordeste Brasileiro (NEB) é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos, como a Zona de Convergência Intertropical (Uvo, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (Kousky e Gan, 1981), os Sistemas Frontais (Kousky, 1979), e os Distúrbios de Leste (Espinoza, 1996), que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacam-se o dipolo do Atlântico e o ENSO, que modificam a frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas, afetando diretamente a agricultura, a pecuária, irrigação e os recursos hídricos (Araújo et al. 2006). Assim, a região Nordeste do Brasil é considerada como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (Souza et al. 1998).

No Nordeste Brasileiro (NEB), verifica-se ao longo do ano um período curto de 3 a 4 meses com precipitações pluviométricas e um período longo, geralmente chamado de período de estiagem, exibindo alta capacidade de evapotranspiração durante todo ano, caracterizando um clima semiárido. O semiárido nordestino se destaca pelas precipitações médias anuais muito irregulares e com grande variabilidade espacial. As precipitações médias variam entre 200 a 700 mm ano<sup>-1</sup>, quando comparadas com outras regiões semiáridas do mundo, estes índices pluviométricos não é tão baixo, no entanto as temperaturas são elevadas, as perdas por evapotranspiração são acentuadas e o semiárido com maior densidade populacional do mundo evidenciando a necessidade, do ponto de vista social, de estudar formas melhores de convivência com a escassez hídrica, segundo Cabral e Santos (2007).

Vários estudos têm sido preparados tendo como tema a variabilidade e suas características climáticas, portanto ainda está longe de chegar a um consenso, principalmente, no que tange a influência local nas tendências globais. Contudo os estudos de variabilidade climática local, principalmente sobre a temperatura e umidade relativa do ar e precipitação são essenciais para se compreender os impactos que estas variações podem trazer para a população em geral. Se realmente as flutuações forem significativas em âmbito local, essas mudanças poderão causar impactos socioeconômicos (na produção agrícola e agropecuária), impactos ambientais (mudanças nos ecossistemas) e impactos sociais (proliferação de vetores de doenças), segundo Maluf et al., (2011).

Segundo Bergamaschi e Matzenauer (2009), o clima é o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas brasileiras. Quando se trata da região Nordeste do

Brasil, principalmente as secas prolongadas, são as maiores responsáveis pela variabilidade da produção agrícola.

Silva et al., (2013) mostraram que o estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. As precipitações pluviométricas apresentam grande variabilidade espacial e temporal, mostrando dois regimes chuvosos: no sul do Estado chove de novembro a março; no centro e norte, a estação chuvosa tem início em dezembro, prolongando-se até maio. Os índices pluviométricos variam entre 700 mm e 1.300 mm na região sul, entre 500 mm e 1.450 mm na região central e entre 800 mm e 1.680 mm no norte do Estado. Analisaram-se as variabilidades pluviométricas municipais entre os diferentes regimes pluviométricos para o estado do Piauí (regiões Norte; Central e Sul), e comprovaram que se têm áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores. Na região Norte os índices pluviométricos têm uma distribuição mais regular que nas áreas Central e Sul, evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Devido à grande variação na pluviometria ao longo dos anos, pode-se observar que os fenômenos de macro, meso e micro escalas são de grande importância para os regimes de chuvas do estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

Medeiros et al., (2013) Mostraram que a variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por esse fenômeno, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Analisaram a variabilidade climática da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP), enfocando tais variações como um meio para compreender futuras mudanças. Utilizaram dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e totais pluviométricos mensais e anuais no período de 1960 a 1990. Como resultado afirmaram que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, bem como, para a saúde humana. Verificou-se, também, que a umidade relativa do ar está reduzida ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado com o aumento da temperatura e conseqüentemente com uma maior evaporação das águas. Sobre os totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que esse aumento pode estar relacionado com o aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma maior evaporação e conseqüentemente uma maior precipitação.

O conhecimento das condições climáticas de uma determinada região é necessário para que se possa estabelecer estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, almejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agropecuárias viáveis e seguras para os diversos biomas da região, conforme Sousa et al., (2010).

Conforme Meis et al., (1981), podem-se analisar as precipitações no decorrer do tempo de diferentes maneiras, possibilitando o reconhecimento do seu comportamento geral, dos seus padrões habituais e extremos.

Nos dias atuais é perceptível a importância das pesquisas que envolvem o estudo do clima na busca da construção de novos parâmetros de conhecimento e conseqüente aplicação nas diversas atividades humanas (agricultura, represamento de água, agropecuário, economia, comércio, lazer, irrigação, hidrologia entre outras ciências) que dependem dos dados e informações cada vez mais concisos sobre chuvas, secas, temporais e eventos extremos, enfim informações de médio e longo prazo geradas com um alto grau de acerto segundo Viana, (2010).

Segundo estudos de análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim/ES realizados por Junior et al. (2012) para as precipitações médias mensais no período de 1972 a 2002 o interpolador krigagem com modelo de semivariograma esférico, seguido do inverso do quadrado da distância apresentaram melhor acurácia.

A ocorrência da precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência, e assim o tratamento dos dados de precipitação para a grande maioria dos problemas hidrológicos é considerado estatístico conforme Matos (2006).

No caso do Brasil, essa dependência das condições pluviais é particularmente sentida na Região Nordeste, em sua porção semiárida. O território nordestino é formado por um conjunto de espaços que se caracterizam pelo balanço hídrico negativo, resultantes das precipitações médias anuais serem inferiores a 800 mm, com insolação média de 2.800 h.ano<sup>-1</sup>, temperaturas médias anuais que oscilam de 23 °C a 27 °C, evaporação de 2.000 mm.ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50% de acordo com Brito et al. (2007).

A precipitação pluviométrica apresenta importância para os estudos climáticos, pois ocasiona implicações, quando da sua intensidade e duração, para os setores produtivos da sociedade tanto agricultura, transporte, irrigação, hidrologia e socioeconômico, causando enchentes, inundações, alagamentos, assoreamento dos rios, e quedas de barreiras de conformidade com Amorim et al. (2008).

Medeiros et al., (2013) Mostraram que a variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por esse fenômeno, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Analisaram a variabilidade climática da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na BHRUP, enfocando tais variações como um meio para compreender futuras mudanças. Utilizaram-se dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e totais pluviométricos mensais e anuais no período de 1960 a 1990. Afirmaram que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, bem como, para a saúde humana. Verificaram que a umidade relativa do ar está diminuindo ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado com o aumento da temperatura e conseqüentemente com maior evaporação das águas. Sobre os totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que esse aumento pode estar relacionado com o aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma maior evaporação e conseqüentemente uma maior precipitação.

Segundo Wei (2007) e Santos et al., (2010), no meio rural as chuvas intensas e as inundações removem o solo superficial, reduzem sua produtividade, transportam os sedimentos para os corpos hídricos e comprometem sua qualidade e capacidade de armazenamento, enquanto no meio urbano levam à destruição de bens e a perdas humanas. De acordo com Teixeira et al., (2011), para reduzir os efeitos das inundações, obras hidráulicas como vertedores, canais, barragens e sistemas de drenagem, são projetadas com base na vazão máxima, seja observada estatisticamente ou com base no emprego de modelos chuva-vazão, de acordo com autores Mello et al., (2003) e Damé et al., (2010).

Em termos climatológicos, uma investigação mais aprofundada sobre o desempenho dos interpoladores mais aplicados ao mapeamento da precipitação precisa ser conduzida, pois os trabalhos desenvolvidos, não demonstram o melhor ou o mais indicado método de interpolação espacial, segundo os autores Mazzini e Schettini (2009); Taesombat e Sriwongsitanon (2009) e Viola et al., (2010).

Segundo Alves e Vecchia (2011), em diversos estudos sobre os melhores métodos de interpolação para cada região, um determinado método torna-se o mais apropriado, principalmente, devido à variabilidade espacial.

Os impactos negativos que as vazões de enchente causam à sociedade como perdas econômicas, danos ao desenvolvimento e até perdas de vidas humanas, levam a repensar os modelos existentes para planejamento e controle dessas vazões. As estruturas hidráulicas destinadas à contenção do excesso de chuva, como barragens, bacias de contenção e terraços, são projetadas de acordo com uma metodologia que define que para certa precipitação possa ser estimada a vazão máxima de projeto, satisfazendo a segurança desejada e promovendo um projeto economicamente racional segundo, Sampaio (2011).

O monitoramento do regime pluviométrico dessa região nos últimos anos tem mostrado que a redução de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular, no final de anos com totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região (Marengo e Silva Dias, 2006).

Tem-se como objetivo realizar a análise da variabilidade espaço temporal da precipitação pluvial média, máxima e mínima média anual para a Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, utilizando-se do modelo surfer para sua modelagem espacial.

## Material e métodos

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da BHRUP, foram utilizados dados de precipitação cedida através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

Utilizaram-se da Classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen, onde se distinguem dois tipos climáticos na BHRUP, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco em conformidade com Medeiros (2014).

O regime de precipitação que compreende a área de estudo começa com as chuvas de pré-estação, iniciando-se na segunda quinzena do mês de outubro. A caracterização do período chuvoso começa nos primeiros dias do mês de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Os fatores provocadores de chuva apresentam-se em predominância para a BHRUP, são as formações de linhas de instabilidade transportadas pelos ventos alísios de Sudeste/Nordeste, trocam de calor, vestígios de frentes frias quando das suas penetrações mais ativas, formações de aglomerados convectivos, orografia, contribuições de formação de vórtices ciclônicos, esteira transportadora, orografia e os efeitos locais, são fatores que aumentam o transporte de vapor da água e umidade e conseqüentemente a cobertura de nebulosidade de acordo Medeiros (2014).

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (de tempo regular e por volta de sete a oito horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade devido às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. Sua magnitude é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos desativados. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a dezenove (19) dias mensais no intervalo de tempo ocorrido dentro do quadrimestre (Medeiros, 2013).

O método de interpolação utilizado foi o inverso do quadrado da distância - equação (1) descrita por Mello et al. (2003), que segundo Mazzini e Schettini (2009), esse método pode ser classificado tanto como um interpolador exato como suavizante. Ele faz com que os pesos dos dados sejam avaliados durante o processo de interpolação, de modo que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da malha.

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^2} x_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

1= atributo interpolado;

$X_i$  = valor do atributo do  $i$ -ésimo ponto de amostragem;

$d_i^2$  = distância euclidiana entre o  $i$ -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado;

$n$  = número de amostras.

Para verificar a acurácia da interpolação, foi calculada a raiz do erro quadrático médio, conforme a equação (2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$E_i$  e  $O_i$  são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente;

$n$  é o número de observações.

A raiz do erro quadrático médio é uma medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados. Segundo Stone (1993), a desvantagem é que bastam alguns poucos valores discrepantes para que ocorra aumento significativo na sua magnitude.

## Resultados e discussão

A Figura 2 representa a variabilidade da precipitação pluvial máxima, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. Observa-se que as chuvas ocorrem no sentido leste – oeste e seus valores máximos ocorrem no extremo sudoeste e na área ribeirinha ao rio Parnaíba.

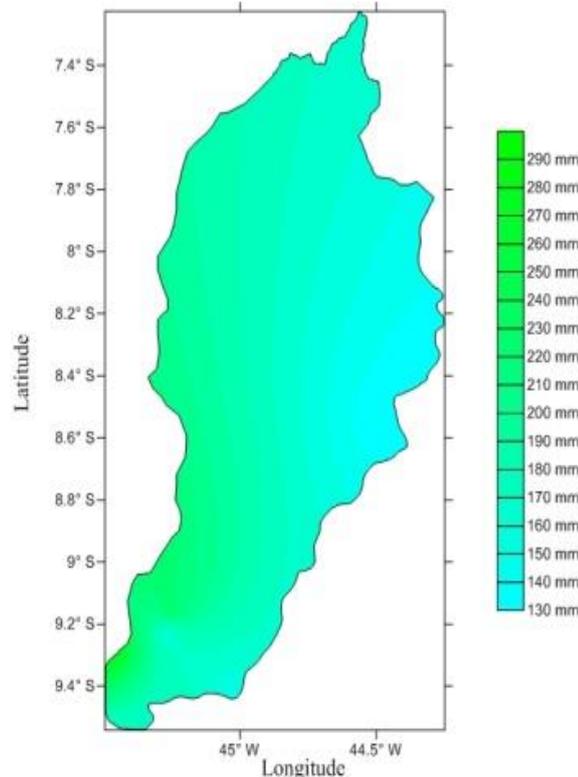


Figura 2. Chuvas máximas ocorridas na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 3 destaca-se a área sul no seu centro que registrou as maiores intensidades das chuvas mínimas, nos setores sudoeste e sudeste ocorreram os menores índices pluviométricos, ao passo que nas demais áreas da bacia os índices pluviométricos são insignificantes para agropecuária e armazenamento de água.

Destaca-se que os menores índices pluviométricos estão a este e na parte sul da bacia e sofrem influencia do relevo e dos fatores transientes atantes.

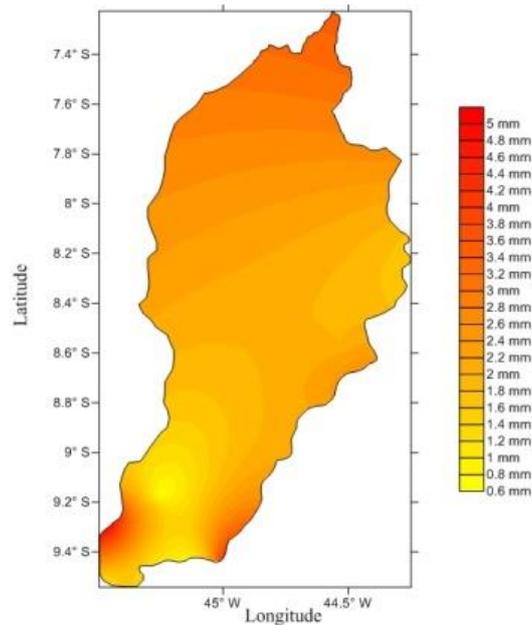


Figura 3. Chuvas mínimas ocorridas na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4 tem-se o comportamento da distribuição da precipitação anual na área da BHRUP, os quais destacaram um acréscimo no sentido leste oeste, observa-se área de máxima pluviosidade na altura do município de Santa Filomena e contornando a área ribeirinha oeste da referida bacia, a pluviosidade ainda é predominante no setor oeste da área sul, central e sul da região norte.

O leste da bacia tem-se área com baixos índices pluviométricos e destacam-se suas flutuações de acréscimo para o seu centro. Tais variabilidades são decorrentes dos sistemas transientes que predominam na região.

A variabilidade anual da precipitação na BHRUP esta em conformidade com Marengo e Silva Dias, (2006) e de acordo com Strang (1972).

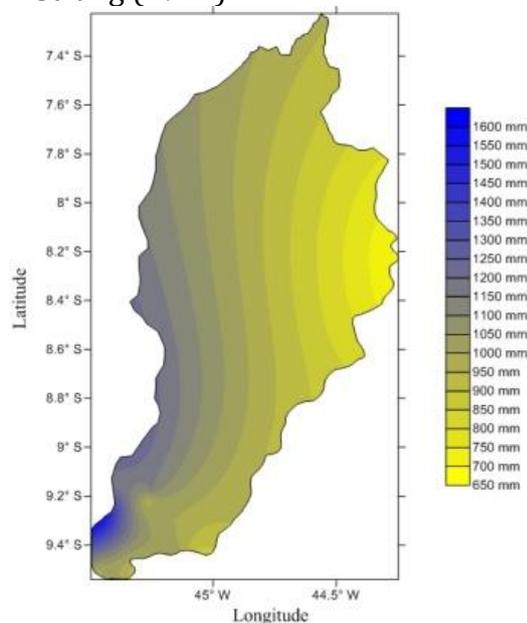


Figura 4. Precipitação (mm) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. Fonte: Medeiros (2014).

Na Tabela 1 tem-se a representação dos resultados estatísticos da precipitação anual para o erro padrão médio, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variância, amplitude e os seus máximos e mínimos valores da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Tabela 1. Resultados estatísticos da precipitação anual para o erro padrão médio, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variância, amplitude e os seus máximos e mínimos valores da área da BHRUP.

Precipitação média anual (mm)	
Erro padrão da média	± 9,8
Média	913,6
Mediana	974
Desvio padrão	166,8
Coeficiente de variância	0,25
Amplitude	958
Mínimo valor	478,9
Máximo valor	1436,9

Fonte: Medeiros (2014).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, à precipitação mínima de 478,9 mm refere-se à precipitação no extremo sul do Estado (Figura 3), a precipitação máxima foi de 1436,9 mm refere-se à precipitação que ocorreu em toda a área oeste (Figura 2). As precipitações apresentaram em média 913,6 mm, com um erro padrão da média de ± 9,8mm.

As precipitações diárias máximas apresentaram em média 75,9mm, com um erro padrão da média de 2,8 mm, 30% das precipitações máximas apresentam no mínimo 80,5mm. Em média a precipitação máxima diária anual obteve um desvio em 6,6mm em torno dos 45,5 mm da precipitação média.

A raiz do erro quadrático médio apresentou um valor de ± 9,8mm para a precipitação média anual, já para a precipitação diária média máxima anual foi 10,4mm, apresentado assim melhor resultado para a precipitação diária média anual, pois Segundo Amorim et al. (2008), num estudo com dois métodos de espacialização (inverso do quadrático da distância e mínima curvatura) da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas, o inverso do quadrático da distância foi o método que apresentou os melhores resultados.

Alves e Vecchia (2011) ao realizarem um estudo tentando abranger os principais métodos de interpolação encontrados na literatura para a precipitação pluvial anual no Estado de Goiás, tais como o inverso do quadrático da distância, krigagem, mínima curvatura e triangulação, verificaram que o método da mínima curvatura apresentou a melhor acurácia, com os menores valores residuais, seguido do método do inverso quadrático da distância que apresentou menor Root Mean Square Error (RMSE).

## Conclusões

As precipitações médias mensais no período de 1960 a 1990 o interpolador krigagem com modelo de semivariograma esférico, seguido do inverso do quadrado da distância apresentaram precisões excelentes com os menores valores residuais.

O conhecimento da variabilidade espacial das precipitações anuais, e máximas ao longo da série histórica em estudo permitem auxiliar no manejo das práticas agrícolas e no planejamento de obras de engenharia hidráulica.

Os fatores provocadores de chuva quando ativos tem-se chuva-se de intensidades moderadas a forte e com duração de 6 a 8 horas.

A influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a ocorrência de secas ou enchentes no Nordeste Brasileiro ainda não está bem compreendida, onde se tem anos com atuação dos fenômenos atuantes e precipitação acima ou abaixo das climatológicas.

A distribuição da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano, demonstrando que mesmo em anos de El Niño as chuvas ocorrem praticamente entre a normalidade.

A análise da variabilidade temporal das chuvas proporciona informações de como o homem rural e urbano deverá estabelecer medidas para captura de águas de chuvas e seu armazenamento usando o período mais chuvoso, além do mais reduzir o consumo de água e energia elétricas e assim como tempo de bombeamento de água nos produtos hortifrutigranjeiros.

## VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E DESERTIFICAÇÃO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

O clima exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de toda e qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano (Soriano, 1997). Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido) como o Nordeste do Brasil (NEB), o monitoramento da precipitação, principalmente durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, enchentes, inundações, alagamentos (Paula et al. 2010). Dentre os elementos do clima de áreas tropicais, a precipitação pluviométrica é o que mais influencia a produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), principalmente nas regiões semiárida, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al. 2007), em função disto a sazonalidade da precipitação concentra quase todo o seu volume durante cinco a seis meses no período chuvoso (Silva, 2004). Muitos estudos recentes sobre informações hidrológicas, climatológicas, agroecológicas e agroclimáticas destinados à criação de modelos cognitivos extrapolados em modelos de bacias ou microbacias hidrográficas que levam em conta, os estudos agroclimáticos, a topografia, declividade do terreno, solos e cobertura vegetal.

No Brasil, a sobre-exploração dos recursos naturais, principalmente na zona semiárida e úmida, dita como ambiente ecologicamente instável e de forte ação antrópica (Ab'Saber, 1977), faz com que esta região seja considerada bastante susceptível à desertificação. O uso inadequado dos recursos naturais contribui para a degradação dos biomas sendo frequente a o aparecimento de áreas desertificadas, e conseqüente deterioração da qualidade de vida da população (Sousa, 2008).

A caracterização das chuvas intensas é imprescindível para solucionar problemas de interesse da engenharia, de modo especial o controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais (Santos et al., 2010). O processo erosivo e sua intensidade dependem principalmente das condições climáticas da região, fatores relacionados à topografia, cobertura do solo e às propriedades do mesmo (Gonçalves, 2002).

A variabilidade climática de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas, especialmente na produção agropecuária e hidrológica. Sendo o clima constituído de um conjunto de elementos integrados, determinante para a vida, este adquire relevância, visto que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Dentre os elementos climáticos, a precipitação tem papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, produzindo resultados na economia (Sleiman, 2008).

Segundo Conti (1995), os processos de circulação atmosférica predominantes nessa região podem contribuir de modo significativo para a desertificação. A falta de informações sobre o problema da degradação das terras, principalmente nos solos da área em estudo o qual foi apontado pela MMA (2006) como um dos municípios mais comprometidos pela desertificação, sobretudo pela grande quantidade de solo exposto provenientes de atividades desenvolvidas sem práticas de conservação dos solos, caracteriza a importância desse estudo.

Nesse contexto, a desertificação constitui um dos mais graves problemas ambientais enfrentados na atualidade, a mesma está associada à redução da produtividade biológica ou econômica das terras, caracterizada pela fragilidade ambiental, social ou econômica. A desertificação pode ser compreendida como a deterioração do quadro natural, com a progressiva redução da biomassa, o ressecamento marcante do ambiente, a elevação acentuada da temperatura média e intensificação dos processos erosivos, inclusive os eólicos, que diante disso, são vários os fatores que colaboram para esse mosaico de domínios naturais: a dinâmica atmosférica regional, as influências orográficas de média escala e as características oceânicas, principalmente as temperaturas das águas superficiais, nessa conjuntura a desertificação tanto pode ter origem em causas naturais ou desencadeadas pela ação antropogênicas (Conti, 2008).

Para Monteiro (1976), o clima é como algo dinâmico e interativo em caráter de conjunto, de síntese e de dinamismo (variabilidade e ritmo) e a análise dinâmica é extremamente importante para a definição em mesoescala dos sistemas morfológicos, para a interpretação da dinâmica dos processos erosivos do meio ambiente e de outros aspectos.

Com base nas definições propostas ao longo dos anos, adotou-se como definição de desertificação a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante das variações climáticas, em maior ou menor grau.

O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região, Marengo e Silva Dias (2006). Dessa forma, o objetivo foi realizar uma análise climatológica da precipitação da área da BHRUP, utilizando-se a série histórica de 1960 a 1990, que possivelmente contribuirá nas decisões de setores como a economia, agropecuária, hidrologia e irrigação auxiliando a sustentabilidade do homem rural no aproveitamento do solo e a recuperação das áreas degradadas/desertificadas com manejo racional adequado dos recursos naturais.

## **Materiais e métodos**

Os dados de precipitações mensais históricos utilizados nesta pesquisa foram obtidos de uma série histórica de 30 anos (1960 a 1990), pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI). A Bacia hidrográfica do rio Uruçui Preto situa-se entre as coordenadas geográficas que determinam o retângulo de 07°18'16" a 09°33'06" de latitude sul e 44°15'30" a 45°31'11" de longitude oeste de Greenwich. Foram utilizados os seguintes dados de precipitação pluviométrica: totais mensais médios e anuais no período de 1960 a 1990 (30 anos). Foram desconsiderados como valores mínimos os totais mensais iguais à zero, considerando-se apenas aqueles que se encontravam no intervalo de 5 a 10 mm. Para análise dos dados foi utilizado programa em planilhas eletrônicas além da utilização de cálculos estáticos simplificados para obter-se os resultados.

De acordo com os sistemas de classificação de Köppen (1928), distinguem-se dois tipos climáticos na bacia do rio Uruçuí Preto o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco em conformidade com Medeiros (2014).

## **Resultados e discussão**

Observa-se na figura 1 o comportamento da precipitação em termos de médias mensais históricas e os valores máximos e mínimos absolutos registrados na BHRUP no período 1960-1990. A média dos totais mensais de chuva variou entre 1,2 mm nos meses de julho e agosto a 175,9 mm no mês de janeiro. O quadrimestre mais chuvoso são os meses de dezembro (149

mm), janeiro (175,9 mm), fevereiro (162,2 mm) e março (158,8 mm). Os valores mínimos absolutos de chuvas ocorreram nas seguintes fazendas Lagoa Grande; São Francisco; Viração e Barreiras. Os valores máximos absolutos de ocorrências de chuvas registrados na área de estudos foram no município de Corrente e nas fazendas Caxingó; Melancia; Paus e Cachoeira, demonstrando com isto a variabilidade espacial e temporal com grandes irregularidades entre anos.

O período chuvoso inicia-se no mês de outubro com chuva de pré-estação e prolonga-se até o mês de abril, o que se destaca é a frequência de irregularidade nas distribuições dos índices pluviométricos entre meses e anos.

A ocorrência de precipitações máximas foram registrados nos meses de dezembro a março provocados pela atividades dos fatores meteorológicos atuantes na na área de estudo. Os valores mínimos de precipitações ocorrem entre os meses de junho a agosto coincidindo com o período seco da bacia em estudo.

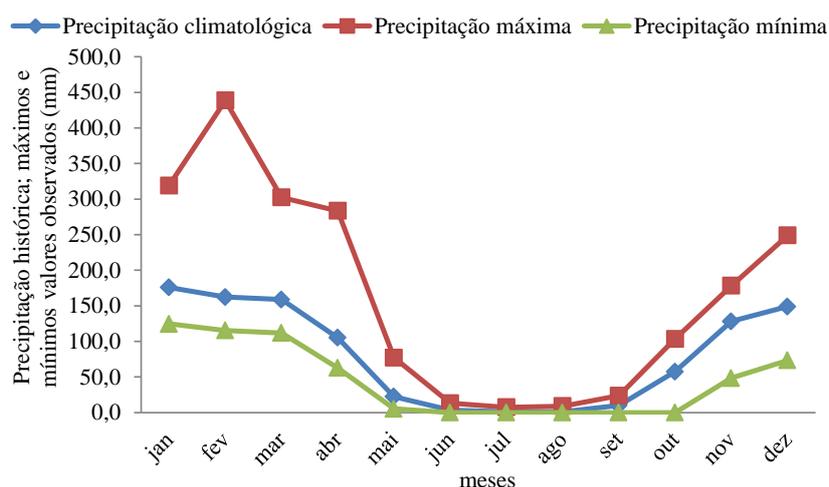


Figura 1. Precipitação pluviométrica histórica mensal e os máximos e mínimos valores ocorridos na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI no período 1960-1990.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2, observa-se a variação dos totais anuais das chuvas históricas para o período de 1960 a 1999 para os 49 postos pluviométricos que cobre a BHRUP, onde se pode constatar que a média anual histórica é de 916 mm com 30 anos de observações. Durante o período analisado ocorreu grande variabilidade dos totais anuais de chuva podendo esta variabilidade ser observada no município de Corrente e na fazenda Cachoeira onde apresentaram os maiores e menores índices pluviométricos.

Destaca-se as variabilidades pluviométricas em diversos municípios e fazendas onde o total anual oscilou próximo a média histórica, estas variações anuais estão interligadas aos fenômenos de larga escala como o El Niño(a).

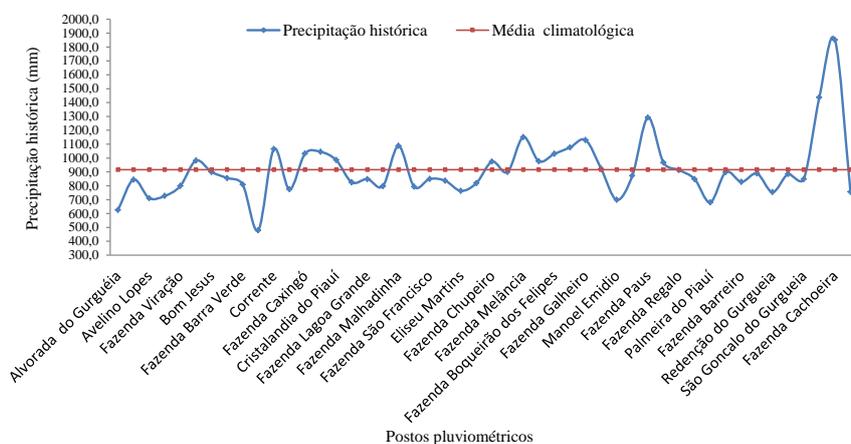


Figura 2. Precipitação pluviométrica anual para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Para os resultados obtidos na área da BHRUP existe a necessidade do planejamento prévio de terrenos para implantações de projetos agrícolas, frutífero, agropecuários, pastagens para que não ocorra o deslocamento de terra, amparado num monitoramento das mudanças que ocorrem no solo, principalmente em regiões de encosta levando em consideração as curvas de níveis do terreno evitando desta forma o assoreamento dos rios, córregos, lagos, lagoas e barragens.

A análise da variabilidade espacial e temporal das chuvas fornece informações relevantes para os setores diversificados no auxílio a utilização de água de chuvas e seu armazenamento na economia, agropecuária, hidrologia e irrigação da área em estudo;

Sugere-se um replantio de árvores de grande e médio porte nativas em torno dos poços, barragens, lagoas; lagos, córregos e rios evitando-se deste modo uma maior taxa de evapotranspiração e o acareamentos dos solos para os seus leitos.

Os maiores índices pluviométricos centram-se nos meses de dezembro a março com oscilações de (149 a 175,9 mm) respectivamente, os meses de menores precipitações junho, julho e agosto fluando com (3,2; 1,2 e 1,2 mm).

O fenômeno da desertificação na área em estudo está diretamente relacionado com a variabilidade climática, a estrutura geológica, as formas do relevo, os solos e a cobertura vegetal. A cobertura natural, da região está caracterizada pelo Bioma cerrado e cerradão bem expressiva, porém bastante degradada ao longo do tempo para a exploração agrícola de monocultura, da lenha, produção de carvão e com pasto para a pecuária.

Pode-se detectar também que a vegetação predominante nessa região é reflexo do solo, do relevo e do clima predominante; por isso, predominam um alto grau de empobrecimento da vegetação, constituindo-se de extratos compostos por árvores, arvoretas, arbustos e ervas que secam no período de seca.

## ANÁLISES DAS OSCILAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho  
José Ivaldo Barbosa de Brito

**Introdução**

A precipitação e a variável climática com a maior variabilidade no tempo e no espaço. Por essa razão, o estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima anual esta relacionado com danos severos as atividades humanas em quase todas as regiões do mundo, devido a seu potencial em causar saturação hídrica do solo, escoamento superficial e erosão (IPCC, 2007; Tammets e Jaagus, 2013).

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que apresenta maior variabilidade, tanto em quantidade, quanto em distribuição mensal e anual de uma região para outra (Almeida, 2003). Segundo Aragão (1975), a principal razão da existência do semiárido nordestino é a ausência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes.

Nos dias atuais é perceptível a importância das pesquisas que envolvem o estudo do clima na busca da construção de novos parâmetros de conhecimento e consequente aplicação nas diversas atividades humanas (agricultura, represamento de água, agropecuário, economia, comércio, lazer, irrigação, hidrologia entre outras ciências) que dependem dos dados e informações cada vez mais concisos sobre chuvas, secas, temporais e eventos extremos, enfim informações de médio e longo prazo geradas com um alto grau de acerto segundo Viana (2010).

A análise de tendências em séries históricas de precipitações é importante para verificar a variabilidade climática interanual e decenal para que assim sejam identificados como as mudanças climáticas podem modular estes padrões temporais de variabilidade.

Medeiros (2012) analisou a climatologia da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria e constatou que os índices pluviométricos são essenciais a sustentabilidade agroindustrial.

A precipitação é fundamental para a caracterização climática (Ferreira da Costa, 1998), e o seu monitoramento tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, por exemplo, são essenciais para estudos como os de D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio et al. (2007) e Coe et al. (2009), que concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e precipitação.

O clima também exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano de acordo, Soriano (1997). Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido), como o NEB e em especial o Estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, principalmente, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos, conforme Paula et al. (2010). Dentre os elementos do clima de áreas tropicais, a precipitação pluviométrica é o que mais influencia a produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), principalmente nas regiões semiárida, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade em conformidade com Santana et al. (2007),

em função disto a sazonalidade da precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco a seis meses no período chuvoso e de acordo com Silva (2004).

Secas prolongadas tornam a água um recurso indisponível e até escasso provocando a migração da população para outras regiões em busca de melhores condições de sobrevivência de vida. A falta de precipitação atrapalha o desenvolvimento da agrícola e a agropecuária trazendo consequências negativas para a economia da região. Nas plantas, a falta de água prejudica o seu desenvolvimento em suas diversas fases de crescimento, principalmente, quando este problema ocorre durante fases fenológicas nas quais elas necessitam de maiores quantidades de água, como, por exemplo, durante a floração e frutificação segundo Fietz et al. (1998).

Diversos autores avaliaram a tendência na precipitação observada no NEB durante o século XX. Por exemplo, Haylock et al. (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos e Britto (2007), utilizando índices de extremos climáticos e correlacionando-os com as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), também mostra tendência de aumento da precipitação total anual nos Estados da Paraíba e Rio Grande de Norte. Santos e Brito (2009) mostraram tendências de aumento de precipitação para o Estado do Ceará.

Tenenbaum et al. (2005), mostraram que não há indícios de diminuição de chuva em São Raimundo Nonato, PI embora exista uma elevada variabilidade espacial e temporal na quantidade de chuva observada de um ano para outro, e mesmo assim, podendo ser armazenadas os índices pluviométricos mesmo que o ano seja abaixo da média climatológica da região. (Melo et al 2005), demonstrou que para o município de União, PI as condições necessárias para uma eficiente captura e armazenamento de água de chuva mesmo que durante o período estudado tenham sido constatados índices abaixo da média histórica na região do município de Pedro II, PI. (Maciel et al 2010), demonstra condições necessárias para uma eficiente captura e armazenamento de água de chuva mesmo que durante o período estudado tenham sido constatados índices abaixo da média histórica na região.

Silva et al. (2013) mostraram que o Estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. As precipitações pluviométricas apresentam grande variabilidade espacial e temporal, mostrando dois regimes chuvosos: no sul do Estado chove de novembro a março; no centro e norte, a estação chuvosa tem início em dezembro, prolongando-se até maio. Os índices pluviométricos variam entre 700 e 1.300 mm na região sul, entre 500 e 1.450 mm na região central e entre 800 e 1.680 mm no norte do Estado. Comprovaram que têm áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores. Na região Norte os índices pluviométricos têm uma distribuição mais regular que nas áreas Central e Sul, evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Devido à variação na pluviometria ao longo dos anos, observaram que os fenômenos de macro, meso e micro escalas são de grande importância para os regimes de chuvas, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

Estudos mostram que a distribuição de frequência tem sido usada para caracterizar o regime pluvial de uma região, embora a distribuição gama incompleta seja o modelo teórico que melhor se ajusta os dados originais (Reis et al. 1995). De acordo com Assis et al. (1996), um erro muito comum em análise de dados é desprezar as características da distribuição de probabilidade mais adequada para os dados em estudo.

Medeiros et al. (2013) mostraram que a variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por esse fenômeno, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Analisaram a variabilidade climática da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na BHRUP, enfocando tais variações como um meio para compreender futuras mudanças. Utilizaram-se dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e totais pluviométricos mensais e anuais no período de

1960 a 1990. Afirmaram que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, bem como, para a saúde humana. Verificaram que a umidade relativa do ar está diminuindo ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado com o aumento da temperatura e conseqüentemente com maior evaporação das águas. Sobre os totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que esse aumento pode estar relacionado com o aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma maior evaporação e conseqüentemente uma maior precipitação.

É de grande relevância a análise do comportamento das chuvas na Região NEB, devido, principalmente, à sua irregularidade, uma vez que as variáveis climáticas são muito importantes não só sob o enfoque climático, mas também pelas conseqüências de ordem social e econômica. Segundo Zanella (2006), vários fenômenos ligados às novas condições climáticas nas cidades, nessas últimas décadas, tais como o aumento da temperatura, a poluição atmosférica, as chuvas mais intensas, entre outros, passam a fazer parte do cotidiano da população, tornando-a vulnerável a inúmeros problemas deles decorrentes.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O balanço hídrico como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos de acordo com Lima (2009).

O conhecimento das condições climáticas de uma determinada região é necessário para que se possa estabelecer estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, almejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agropecuárias viáveis e seguras para os diversos biomas da região conforme Sousa et al. (2010).

Mendonça (2007) elucida que o sistema climático é formado por um conjunto de elementos altamente dinâmicos que interagem com os fatores geográficos do clima, existindo assim uma permanente troca de energia e interdependência.

Segundo Marengo (2012), a região NEB caracteriza-se naturalmente com alto potencial para evaporação da água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados à mudança de clima decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas. Isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias conseqüências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

Com o objetivo de analisar as mudanças climáticas sobre o NEB, é importante conceituar os processos que influenciam o padrão das distribuições pluviométricas, tanto espacial quanto temporal. Nesse contexto, um fator relevante a ser destacado é a irregularidade na distribuição dos índices pluviométricos, associado à alta variabilidade interanual da precipitação na região tropical, com alguns anos secos e outros chuvosos. Diversos fatores podem contribuir para explicar a alta variabilidade da precipitação sobre o NEB, dentre os quais podem ser citados a flutuação nos valores da TSM do Oceano Pacífico Tropical Sul e do Atlântico Sul. No geral, os valores das anomalias das TSM's, do Pacífico Tropical e Atlântico estão associados a mudanças no padrão da circulação geral da atmosfera e conseqüentes variações na precipitação do Nordeste do Brasil conforme Araújo (2009).

A variabilidade climática de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas, especialmente na produção agrícola. Sendo o clima constituído de um conjunto de elementos integrados, determinante para a vida, este adquire relevância, visto que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Dentre os elementos climáticos, a precipitação tem

papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, produzindo resultados na economia de conformidade com Sleiman (2008).

O monitoramento do regime pluviométrico da região nos últimos anos tem mostrado que a escassez de recursos hídricos acentua os problemas socioeconômicos, em particular ao final de cada ano, com os totais pluviométricos em torno ou abaixo da média da região, conforme Marengo e Silva Dias (2006).

Conforme Sant'anna Neto (2008), o estudo do clima e de seus impactos, numa perspectiva geográfica, deve atingir dois níveis: o da dimensão socioeconômica e o da ambiental. Na dimensão socioeconômica, compreende a influência dos fenômenos atmosféricos e dos padrões climáticos na estruturação do território e no cotidiano da sociedade, território esse que pode ser modificado em função da variabilidade decorrente das alterações climáticas.

As constantes mudanças no clima estão provocando aumento nas ocorrências de eventos climáticos extremos no mundo inteiro. No Brasil, esses eventos ocorrem, principalmente, como enchentes (fortes chuvas) e secas prolongadas Marengo et al. (2010). No Nordeste do Brasil os impactos são ainda maiores devido à grande variabilidade na ocorrência de precipitação dessa região. Os principais sistemas responsáveis pela ocorrência de precipitação no NEB são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Linha de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Brisas (Marítima e Terrestres) e as Perturbações Ondulatórias nos ventos Alísios (POAS) conforme Molion e Bernardo (2002). O El Niño – Oscilação Sul (ENOS) é outro modo de variabilidade climática que influencia na ocorrência de precipitação do NEB.

Segundo Brandão (2001), os impactos pluviais são, na maioria das vezes, enquadrados na categoria de eventos naturais extremos ou desastres naturais, dependendo de sua magnitude e extensão.

Segundo Tucci (2002), as definições utilizadas na literatura sobre alterações climáticas se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2001) define mudança climática como as mudanças temporais do clima devido à variabilidade natural e/ou resultados de atividades humanas. Outros autores, como Ferola (2003), Ichikawa (2004) e Sturm et al. (2005) adotam, para o mesmo termo, a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente às atividades humanas que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período.

A distribuição da precipitação pluvial no nordeste brasileiro é bastante irregular no tempo e no espaço, além disso, as estações chuvosas ocorrem de forma diferenciada, em quantidade, duração e distribuição. Tem-se como objetivo a análise das oscilações pluviométricas na área da BHRUP, Brasil no período de 1960 a 1990. Este estudo é relevante, uma vez que a área estudada se caracteriza por possuir uma variabilidade dos índices pluviométricos e uma diversidade nos padrões de ocupação do solo, onde os impactos das precipitações têm grande influência na área estudada, eventos extremos prejudicam a questão sócia econômica local.

## **Materiais e métodos**

A área de interesse do estudo dispõe de uma rede de estações meteorológicas reduzida e espacialmente mal distribuída, o que dificulta uma boa caracterização das condições climáticas. Sendo assim, utilizou-se de dados interpolados, estimados e gerados por retas de regressões lineares múltiplas, através do software Estima\_T (Cavalcanti et al., 2006). Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

A temperatura máxima anual é de 32,1 °C, sua mínima anual é de 20,0 °C e a temperatura média anual de 26,1 °C. Utilizou-se da Classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen, onde se distinguem dois tipos climáticos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco de acordo com Medeiros (2014).

O regime de precipitação que compreende a área de estudo começa com as chuvas de pré-estação, iniciando-se na segunda quinzena do mês de outubro. A caracterização do período chuvoso começa nos primeiros dias do mês de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Os fatores provocadores de chuva apresentam-se em predominância para a BHRUP, são as formações de linhas de instabilidade transportadas pelos ventos alísios de Sudeste/Nordeste, trocam de calor, vestígios de frentes frias quando das suas penetrações mais ativas, formações de aglomerados convectivos, orografia, contribuições de formação de vórtices ciclônicos, esteira transportadora, orografia e os efeitos locais, são fatores que aumentam o transporte de vapor d'água e umidade e conseqüentemente a cobertura de nebulosidade.

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (de tempo regular e por volta de sete a oito horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade devido às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. Sua magnitude é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos desativados. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a dezenove (19) dias mensais no intervalo de tempo ocorrido dentro do quadrimestre de acordo com Medeiros (2013).

A utilização de Pacote com planilhas eletrônicas para elaboração de gráficos com a variabilidade anual das precipitações, das anomalias pluviométricas, precipitação histórica e desvio percentual.

Conforme Meis et al. (1981), podem-se analisar as precipitações no decorrer do tempo de diferentes maneiras, possibilitando o reconhecimento do seu comportamento geral, dos seus padrões habituais e extremos.

Foi efetuada uma análise de frequência das distribuições dos totais anuais das chuvas mediante a elaboração dos gráficos. Utilizou-se a escala proposta por Meis et al. (1981), empregada por Xavier e Dornelas (2005), definida da seguinte forma: os valores anuais que mais se aproximaram do valor médio, foram caracterizados como intermediários, e os valores de precipitação anual que se afastaram da média foram considerados como representativos para os anos mais secos e mais úmidos. Utilizou-se uma escala de variação de 25% em relação à média para os meses intermediários; valores acima da escala caracterizaram-se como anos muito chuvosos, e os abaixo dos 25%, anos secos, conforme, Xavier e Dornelas (2005).

## **Resultados e discursões**

As oscilações da pluviometria se estabelecem em uma das características principais do regime pluviométricos na área da BHRUP. Tratando-se de uma área onde se distinguem dois tipos climáticos o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco. Possui uma pluviosidade irregular, com sua magnitude alterando-se intermunicípios. Na Figura 1, apresenta-se a distribuição da precipitação anual entre os anos de 1960 a 1990, em que a média anual histórica foi de 916 mm. Os índices de precipitação oscilam entre 478,7 a 1.436,9 mm ocorreram entre os quarenta e nove locais estudados. Os locais que apresentaram os maiores índices pluviométricos foram Santa Filomena com 1.436,9 mm, fazenda Paus com 1.291,4 mm e fazenda Melancia com

1.150,9 mm e fazenda Galheiro com 1.129,8 mm os menores índices pluviométricos foram registrados nos seguinte locais Manoel Emídio 698,2 mm, Palmeira do Piauí com 680,2 mm, Alvorada do Gurgueia com 625,3 mm e Colônia do Gurgueia com 478,7 mm.

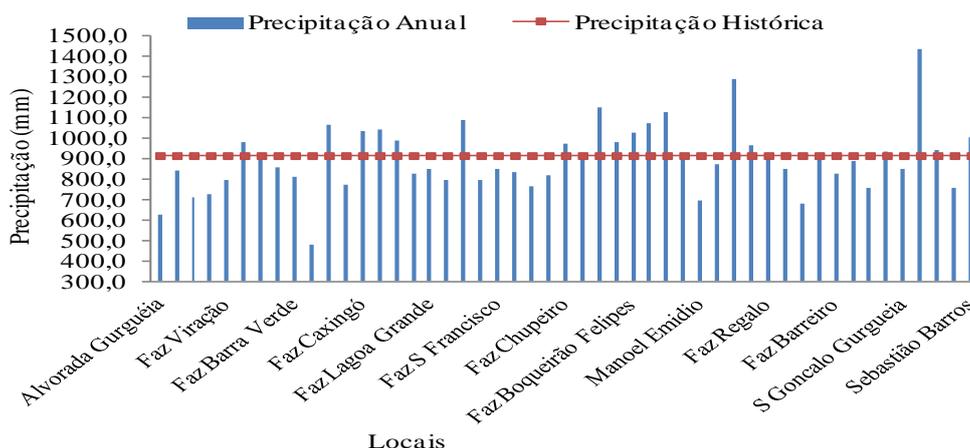


Figura 1. Distribuição temporal da precipitação anual e da média histórica na área da BHRUP. Fonte: Medeiros (2014).

O Diagnóstico da variabilidade dos índices pluviométricos na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto indica uma leve tendência de decréscimo desses totais anuais ao longo dos 30 anos, com um decréscimo de  $0,1 \text{ mm.ano}^{-1}$ , totalizando 100mm em toda a série. Contudo, não é possível afirmar que se trata de alguma mudança climática, pois, como já se mencionou anteriormente, a variabilidade pluviométrica pode alterar essa tendência nos próximos anos.

A expressiva variabilidade pluviométrica que ocorre na área em estudo resulta em observáveis desvios anuais. Como se observa na Figura 2, durante os 30 anos, o que apresentou o maior índice anual foram os referidos locais Santa Filomena; Corrente, e as Fazendas: Paus; Galheiro; Melancia; Bela Vista e Malhadinha resultando em uma variação positiva em relação à normal superior aos 30%. Os mais secos registrados em toda a série são Alvorada do Gurgueia; Avelino Lopes; Fazenda Vereda da Mata. O fenômeno El Niño, que ocorreu nos anos de 1997/1998, influenciou na redução considerável das chuvas nesses anos, uma vez que, em anos de El Niño, se observa uma diminuição dos totais pluviométricos na região Nordeste, provocando, em alguns anos, secas severas. De acordo com Oliveira (2001), as intensidades dos eventos variam bastante de caso a caso, sendo o El Niño mais intenso, desde as observações de TSM, os de 1982/1983, 1993 e 1997/1998.

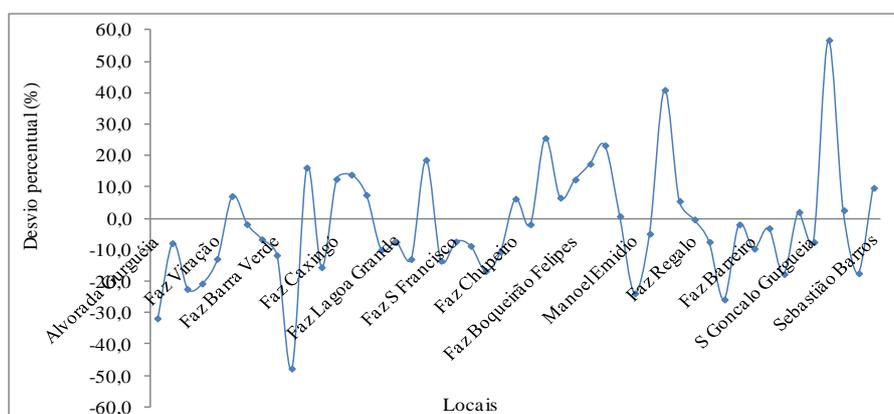


Figura 2. Desvio percentual anual da precipitação em relação à média histórica para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. Fonte: Medeiros (2014).

Na Tabela 1 encontram-se os valores da precipitação total anual, as médias históricas, o desvio percentual, anomalias pluviométricas e suas respectivas classificações para o período de 1960 a 1990. A variabilidade também foi expressa na caracterização do ano normal, seco, chuvoso, muito seco, muito chuvoso, extremamente seco e extremamente chuvoso de acordo com o desvio em relação à média, como observado na Tabela 1. No total dos 49 locais observados, tem-se que 43 locais foram classificados com chuvas normais, Colônia do Gurguéia classificado como muito seco; Palmeira do Piauí com classificação seca, o município Santa Filomena foi classificado como muito chuvoso, ao passo que Alvorada do Gurguéia e as fazendas Melancia e Paus classificadas como chuvosa. A análise da distribuição das chuvas na área em estudo demonstrou ligeira tendência de redução desses totais anuais ao longo dos 30 anos estudados.

A representatividade dos desvio percentual negativo nos auxilia para realização da classificação anual dos municípios, os quais oscilaram entre muito seco a muito chuvoso. A anomalia da precipitação se refere a quantidade que faltou ou teve excedente em relação ao total mensal.

Tabela 1. Locais, índices pluviométricos anuais; precipitação histórica; desvio percentual, anomalia da precipitação e classificação anual do período de (1960 – 1990), segundo método proposto por Meis et al. (1981).

Locais	Precipitação Anual (mm)	Precipitação Histórica (mm)	Desvio Percentual (mm)	Anomalia Precipitação (mm)	Classificação
Alvorada Gurguéia	625,3	916	-31,7	-290,7	Seco
Alto Parnaíba	844,4	916	-7,8	-71,6	Normal
Avelino Lopes	710,9	916	-22,4	-205,1	Normal
Faz Vereda Mata	726,9	916	-20,6	-189,1	Normal
Faz Viração	798,6	916	-12,8	-117,4	Normal
Barreiras Piauí	981,9	916	7,2	65,9	Normal
Bom Jesus	899,6	916	-1,8	-16,4	Normal
Faz Conceição	855,9	916	-6,6	-60,1	Normal
Faz Barra Verde	809,3	916	-11,6	-106,7	Normal
Colônia Gurguéia	478,7	916	-47,7	-437,3	Muito Seco
Corrente	1064,7	916	16,2	148,7	Normal
Faz Barras	774,2	916	-15,5	-141,8	Normal
Faz Caxingó	1031,6	916	12,6	115,6	Normal
Faz Jenipapeiro	1044,3	916	14,0	128,3	Normal
Cristalândia PI	985,3	916	7,6	69,3	Normal
Cristino Castro	825,1	916	-9,9	-90,9	Normal
Faz Lago Grande	848,4	916	-7,4	-67,6	Normal
Faz Japeganga	797,9	916	-12,9	-118,1	Normal
Faz Malhadinha	1087,3	916	18,7	171,3	Normal
Curimatá	793,0	916	-13,4	-123,0	Normal
Faz S Francisco	849,2	916	-7,3	-66,8	Normal
Currais	836,4	916	-8,7	-79,6	Normal
Eliseu Martins	763,1	916	-16,7	-152,9	Normal
Faz Puca	819,4	916	-10,6	-96,6	Normal
Faz Chupeiro	974,0	916	6,3	58,0	Normal
Gilbués	899,3	916	-1,8	-16,7	Normal
Faz Melancia	1150,9	916	25,6	234,9	Chuvoso
Faz Santa Maria	977,1	916	6,7	61,1	Normal
Faz Boqueirão Felipes	1030,1	916	12,5	114,1	Normal
Faz Bela Vista	1075,7	916	17,4	159,7	Normal
Faz Galheiro	1129,8	916	23,3	213,8	Normal
Júlio Borges	923,1	916	0,8	7,1	Normal
Manoel Emídio	698,2	916	-23,8	-217,8	Normal

Monte Alegre I	871,7	916	-4,8	-44,3	Normal
Faz Paus	1291,4	916	41,0	375,4	Chuvoso
Faz Vereda Glória	967,3	916	5,6	51,3	Normal
Faz Regalo	913,6	916	-0,3	-2,4	Normal
Morro Cabeça Tempo	848,3	916	-7,4	-67,7	Normal
Palmeira do Piauí	680,2	916	-25,7	-235,8	Seco
Parnaguá	898,9	916	-1,9	-17,1	Normal
Faz Barreiro	828,3	916	-9,6	-87,7	Normal
Faz Mocambo	888,0	916	-3,1	-28,0	Normal
Redenção Gurgueia	754,4	916	-17,6	-161,6	Normal
Riacho Frio	935,4	916	2,1	19,4	Normal
Gonçalo Gurgueia	847,5	916	-7,5	-68,5	Normal
					Muito chu-
Santa Filomena	1436,9	916	56,9	520,9	voso
Faz Cachoeira	940,5	916	2,7	24,5	Normal
Santa Luz	756,6	916	-17,4	-159,4	Normal
Sebastião Barros	1005,8	916	9,8	89,8	Normal

Fonte: Medeiros (2014).

Sendo a série amostral um período de dados com grande significância, possuindo um período de 30 anos, é necessário que seja ampliada a série dos dados durante a segunda década do século XXI, para uma avaliação futura mais precisa; com isso, sugere-se uma continuidade dessas análises nos anos subsequentes.

Na Figura 3, tem-se a representação da precipitação anual e anomalia da precipitação na área de estudo.

Em relação às anomalias, encontrou-se predominância negativas, que apresentaram uma variação negativa em relação à normal. As anomalias negativas, no período, foram encontradas em 27 anos, e as anomalias positivas, em 21 anos. Quanto à análise realizada, esta permitiu identificar os meses mais chuvosos e secos, apresentando, também, os meses mais variáveis e, por isso, difíceis quanto à previsão bem como à probabilidade de recorrência no decorrer do tempo. Esta predominância negativa da anomalia negativa esta diretamente interligada ao fenômeno de larga escala El Niño e as contribuições locais.

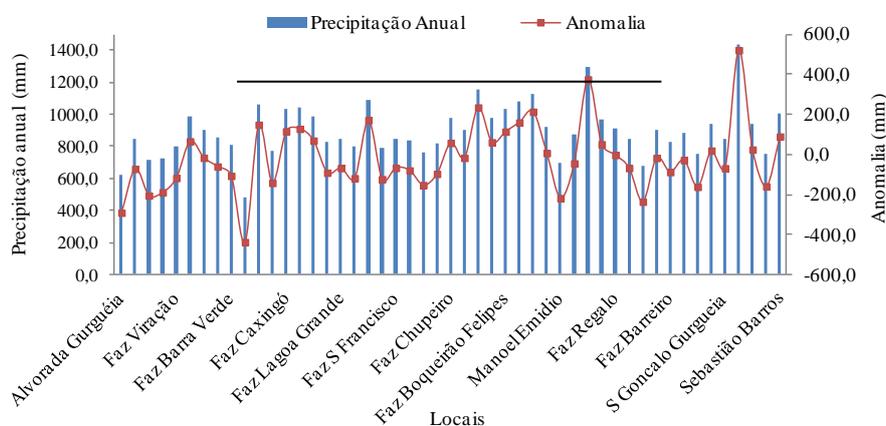


Figura 3. Precipitação anual e anomalia da precipitação.

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Os resultados alcançados revelar tendências de reduções dos índices pluviométricos, mesmo com oscilações das precipitações ao longo da série amostral, que compreendeu os 30 anos (1960 a 1990).

Evidencia-se a recorrência de valores máximos de precipitação anual dentro os intervalo de anos entre 17, 13 e 9 anos.

Utilizando o teste de significância estatística t de Student, foi observado que os dados de precipitação são, de modo geral, 99% significativos.

Sugere-se um estudo com uma série de maiores anos para que possam verificar-se as flutuações e as contribuições dos fenômenos El Niño e La Niña em toda a área de estudo.

Na classificação predominou em sua maioria a classe normal, isto significa que as chuvas ocorridas oscilaram próximo a média histórica.

## ANÁLISE E TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Milla Nóbrega de Menezes Costa  
Manoel Francisco Gomes Filho

**Introdução**

As atividades humanas necessitam de diversos recursos ambientais para promover sua sobrevivência, e a água é o recurso mineral mais utilizado para atender às necessidades econômicas e sociais de uma região.

A água é uma componente sumariamente importante em quase todos os setores da atividade humana. O planejamento e a gestão dos recursos hídricos surgiram com o intuito de diminuir os conflitos pelo uso da água, ocasionados pelo rápido crescimento populacional e da crescente expectativa de melhor qualidade de vida, segundo Matondo (2002).

A água, apesar de ser considerada como um recurso renovável e inesgotável, somente uma parcela deste recurso está disponível para consumo, e aliado a isto estão as transformações globais que vêm ocorrendo, tais como, crescimento desordenado de cidades, degradação de áreas naturais, contaminação por poluentes, agrotóxicos, esgotos, entre outros que estão trazendo sérios problemas às fontes potáveis e aos recursos hídricos.

Sabe-se que as ações antrópicas e as mudanças climáticas estão impactando diretamente a frequência e intensidade das chuvas, por serem fatores que estão contribuindo para a frequência de acontecimentos de enchentes ou secas no Brasil e no mundo de acordo com alguns autores como Grimm (2011); Min et al. (2011). Portanto, faz-se necessário o conhecimento da forma como as chuvas se distribuem espacialmente e temporalmente, principalmente em questões relacionadas ao manejo, conservação do solo e da água, e em construções de obras hidráulicas, para definir a vazão de projetos de conformidade com os autores Rodrigues (2008); Cecílio (2009); Santos et al. (2010); Aragão (2013).

Nos dias atuais é perceptível a importância das pesquisas que envolvem o estudo do clima na busca da construção de novos parâmetros de conhecimento e consequente aplicação nas diversas atividades humanas que dependem de dados e informações cada vez mais concisos sobre chuvas, secas, temporais e eventos extremos, enfim informações de médio e longo prazo geradas com um alto grau de acerto segundo Viana (2010). Deste modo, os estudos das precipitações máximas intensas são realizados para se ter uma prospecção do comportamento da chuva ao longo dos anos, podendo evitar futuros desastres relacionados a eventos extremos.

A precipitação é uma das variáveis mais importantes, por ser uma variável fundamental para a caracterização climática, e apresenta uma grande variabilidade no tempo e no espaço. O estudo de eventos extremos de precipitação diária máxima anual esta relacionado com danos severos as atividades humanas em quase todas as regiões do mundo, devido a seu potencial em causar saturação hídrica do solo, escoamento superficial e erosão (IPCC, 2007; Tammets e Jaagus, 2013).

O monitoramento da precipitação tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água.

Em projetos na área de recursos hídricos, é necessário conhecer a série de registros de vazões. Essa deve ser representativa dos eventos ocorridos na bacia hidrográfica, e, por consequência, composta por um banco de dados de um longo número de anos. A partir desses dados, o engenheiro busca conhecer a “cheia de projeto”, que é a maior enchente para a qual uma dada

obra hidráulica será projetada. Em contrapartida a essa necessidade, um dos principais problemas para este tipo de estudo são os dados serem escassos, ou até mesmo não existirem. Essa falta deve-se ao seu alto custo de obtenção dos dados, manutenção dos equipamentos utilizados ou preservação dos dados já coletados.

Em estudos realizados por diversos autores como D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio (2007) e Coe et al. (2009) mostram que os dados pluviométricos são essenciais para os estudos, e concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e na precipitação.

Molion (1985) defende que para compreender a formação do clima de uma região é preciso considerar alguns fatores fundamentais como é o caso da circulação geral da atmosfera (resultado do aquecimento diferencial entre o equador e os polos), a distribuição assimétrica dos continentes e oceanos e o ciclo hidrológico, especialmente no que se refere à distribuição da precipitação pluvial, por ser também um dos elementos de maior influência sobre as atividades humanas.

Diversos autores avaliaram a tendência na precipitação observada no Nordeste do Brasil (NEB) durante o século XX. Por exemplo, Haylock et al. (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos e Britto (2007), utilizou índices de extremos climáticos e correlacionou-os com as anomalias de TSM, e também mostrou uma tendência de aumento da precipitação total anual nos Estados da Paraíba e Rio Grande de Norte.

O estudo para analisar as tendências em séries históricas de precipitações é importante para verificar a variabilidade climática interanual e decenal para que assim sejam identificados como as mudanças climáticas podem modular estes padrões temporais de variabilidade.

Medeiros (2012) analisou a climatologia da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria, e constatou que os índices pluviômetros são essenciais a sustentabilidade agroindustrial.

Silva et al. (2013) mostraram que o Estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. O objetivo deste trabalho foi analisar as variabilidades pluviométricas municipais entre os diferentes regimes pluviométricos para o Estado do Piauí (regiões Norte, Central e Sul), e comprovar que se têm áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores. As precipitações pluviométricas apresentaram grande variabilidade espacial e temporal, mostrando dois regimes chuvosos: no sul do Estado chove de novembro a março; no centro e norte a estação chuvosa tem início em dezembro, prolongando-se até maio. Os índices pluviométricos variaram entre 700 e 1.300 mm na região sul, entre 500 e 1.450 mm na região central e entre 800 e 1.680 mm no norte do Estado. Na região Norte os índices pluviométricos têm uma distribuição mais regular que nas áreas Central e Sul, evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Devido à grande variação na pluviometria ao longo dos anos, pode-se observar que os fenômenos de macro, meso e micro escalas são de grande importância para os regimes de chuvas o Estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

A distribuição da precipitação pluvial é bastante irregular no tempo e no espaço, e as estações chuvosas ocorrem de forma diferenciada, em quantidade, duração e distribuição. Assim, o objetivo deste estudo foi apresentar uma distribuição espaço temporal histórica e a tendência futura da precipitação pluvial para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto- PI, utilizando uma série histórica de 30 anos de dados, compreendido entre o período de 1960 a 1990, para 25 municípios e 24 fazendas que compõem a referida área. Utilizou-se o teste de Mann-Kendall com a finalidade de detectar tendências hidroclimáticas nas séries pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, e assim gerar informações que possam auxiliar os

setores ligados aos recursos hídricos.

## Material e métodos

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 2013) para o período de 1960 a 1990, que compreendem 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

A bacia do rio Uruçuí Preto é formada por 25 municípios) e 24 fazendas (Tabela 1 que contém dados pluviométricos com uma série de 30 anos (período de 1960-1990). A temperatura máxima anual é de 32,1 °C, sua mínima anual é de 20 °C e a temperatura média anual de 26,1 °C. Foi utilizada a classificação climática de acordo com os sistemas de Köppen e Geiger (1928), onde se distinguem dois tipos climáticos na bacia do rio Uruçuí Preto-PI, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; BSh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco, Medeiros, (2013). O regime pluviométrico municipal possui uma distribuição irregular espacial e temporal, que é uma característica do Nordeste brasileiro, em função disto a sua sazonalidade de precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco meses no período chuvoso segundo Silva (2004).

Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados em 30 anos, caracterizando um período de normal climatológica. Foram utilizados programas computacionais para extrair os valores das médias mensais, anuais, desvio padrão, coeficiente de variância da precipitação, máximos e mínimos valores absolutos de precipitação do período de 1960 a 1990. Utilizou-se ainda pacotes em planilhas eletrônicas para a elaboração gráficos além da representação linear e sua respectiva equação da reta seguido do R<sup>2</sup>, para os valores mensais e anuais da área em estudo.

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos dos municípios e suas respectivas coordenadas geográficas, e a classificação climática segundo Köppen para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

<b>Municípios/Coordenadas</b>	<b>Lat (° ' )</b>	<b>Long (° ' )</b>	<b>Alt (metros)</b>	<b>Köppen</b>
Alvorada Gurguéia	08 25	43 46	281	Bsh
Alto Parnaíba – MA	09 07	45 56	220	AW
Avelino Lopes	10 08	43 57	400	Bsh
Barreira do Piauí	09 55	45 28	500	AW
Bom Jesus	09 04	44 21	220	Bsh
Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200	Bsh
Corrente	12 26	45 09	434	AW
Cristalândia	10 39	45 11	600	AW
Cristino Castro	08 48	44 13	240	Bsh
Curimatá	10 02	44 17	350	Bsh
Currais	09 00	44 24	320	Bsh
Elizeu Martins	08 12	43 23	210	Bsh
Gilbués	09 49	45 21	500	AW
Júlio Borges	10 19	44 14	389	AW
Manoel Emídio	07 59	43 51	200	Bsh
Monte Alegre	09 45	45 17	454	AW
Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479	Bsh
Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268	Bsh
Parnaguá	10 13	44 38	316	AW

Redenção Gurguéia	09 30	44 36	365	Bsh
Riacho Frio	10 07	44 57	400	AW
São Gonçalo do Gurguéia	10 01	45 18	440	AW
Santa Filomena	09 05	46 51	380	AW
Santa Luz	08 55	44 03	340	Bsh
Sebastião Barros	10 49	44 50	360	AW

Fonte: SUDENE/EMATERPI e Medeiros (2015).

## Regressão linear e estatística

O Teste de Mann-Kendall foi utilizado para analisar as tendências lineares da série. Este teste não paramétrico pode ser usado em séries descontínuas com distribuição desconhecida, com a vantagem de usar a magnitude relativa dos valores da série. Porém, os dados precisam ser variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas em conformidade com Gilbert (1983).

O teste aplicado à área da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto nos mostrou um alto nível de confiabilidade e de tendência bastantes significativas crescente ou decrescente de chuvas para todos os 49 locais analisados na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, como há tendência de variabilidade de precipitação nas cabeceiras do rio, esse fato é positivo para agricultura e setores dos recursos hídricos, na área em estudo, que também sofrem com efeitos antrópicos degradando-os e pondo em risco a sustentabilidade dos recursos naturais locais. A partir de tendências climáticas pode-se aperfeiçoar a agricultura, diminuindo as perdas ou minimizando a irrigação.

A regressão linear é um método para se estimar a condicional (valor esperado) de uma variável  $y$ , dados os valores de algumas outras variáveis  $x$ . A regressão, em geral, trata da questão de se estimar um valor condicional esperado. Em muitas situações, uma relação linear pode ser válida para sumarizar a associação entre as variáveis  $Y$  e  $X$ .

Através da estatística descritiva, podemos ter características essenciais para a formação de histograma de frequências relativas de uma amostra de dados hidrológicos segundo Naghettini e Pinto (2007). Para este estudo foram calculadas medidas de tendência central e de dispersão. Utilizando-se as medidas de tendência central e de dispersão pode-se verificar analiticamente os parâmetros, e observar se as amostras são diferentes ou semelhantes.

## Resultados e discussão

A distribuição dos valores pluviais da média anual, com base nos dados da série histórica de 1930 a 1990 para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto apresentaram uma variação significativa da precipitação (Figura 1).

Os maiores índices pluviométricos registrados nos municípios para a série de 30 anos de dados observados ocorreram nas fazendas que encontram-se localizadas no município de Gilbués, em Corrente ( $1.064,7 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), Fazenda Genipapeiro ( $1.044,3 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), fazenda Galheiro com  $1.129,8 \text{ mm.ano}^{-1}$ , Fazenda Bela Vista ( $1.075,7 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) e fazenda Melancia com  $1.150,9 \text{ mm.ano}^{-1}$ .

Os menores índices pluviométricos registrados nos municípios foram em Santa Luz com  $756,6 \text{ mm.ano}^{-1}$ , Redenção Gurguéia ( $754,4 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), Palmeira do Piauí com  $680,2 \text{ mm.ano}^{-1}$ , Manoel Emídio ( $698,2 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) e Colônia do Gurguéia com  $478,7 \text{ mm.ano}^{-1}$ , estas variabilidades são decorrentes dos sistemas meteorológicos de grandes escalas atuantes nos referidos locais. Para a área da bacia hidrográfica em estudo não é observada tendência de longo prazo, apenas verifica-se variabilidade interdecenal, com décadas mais secas precedidas de décadas mais chuvosas e vice-versa.

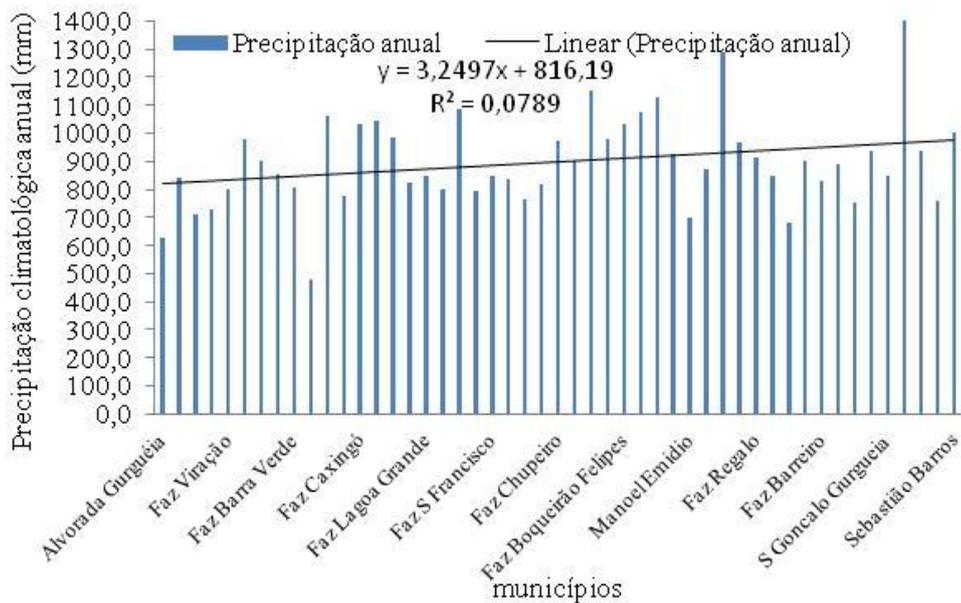
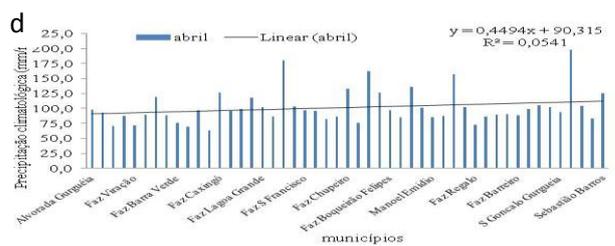
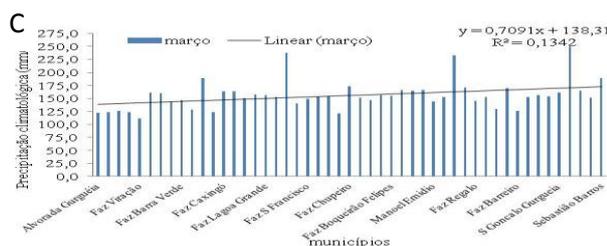
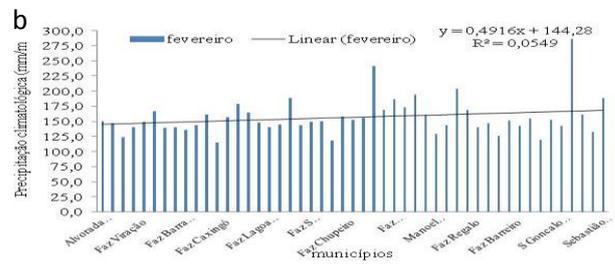
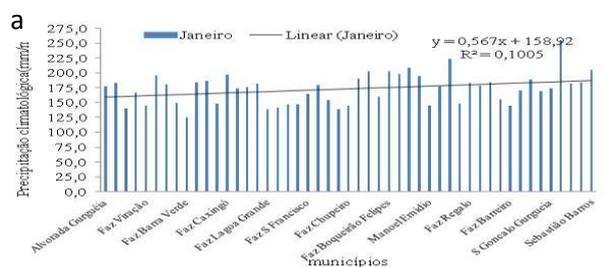


Figura 1. Distribuição espaço temporal e análise de regressão linear da precipitação pluvial da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.  
Fonte: Medeiros (2014).

Verifica-se uma elevada variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro (Figura 2 – a, b, c, j, l, m, respectivamente). As baixas variabilidades pluviométricas concentraram-se nos meses de julho, agosto e setembro (Figura 2 – g, h, i) e as moderadas variabilidades ocorrem nos meses de abril, maio e junho (Figura 2 – d, e, f).

O período chuvoso iniciou-se na segunda quinzena do mês de outubro com chuva de pré-estação, sua caracterização ocorre nos primeiros dias de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o trimestre mais seco são os meses de junho, julho e agosto, o uso da média espacial dos totais pluviométricos podem ter suavizado as tendências.

Na série de precipitação estudada, o regime de chuvas é muito complexo, sendo bastante diversificado sazonalmente, apresentando grande variabilidade interanual e intermunicipal.



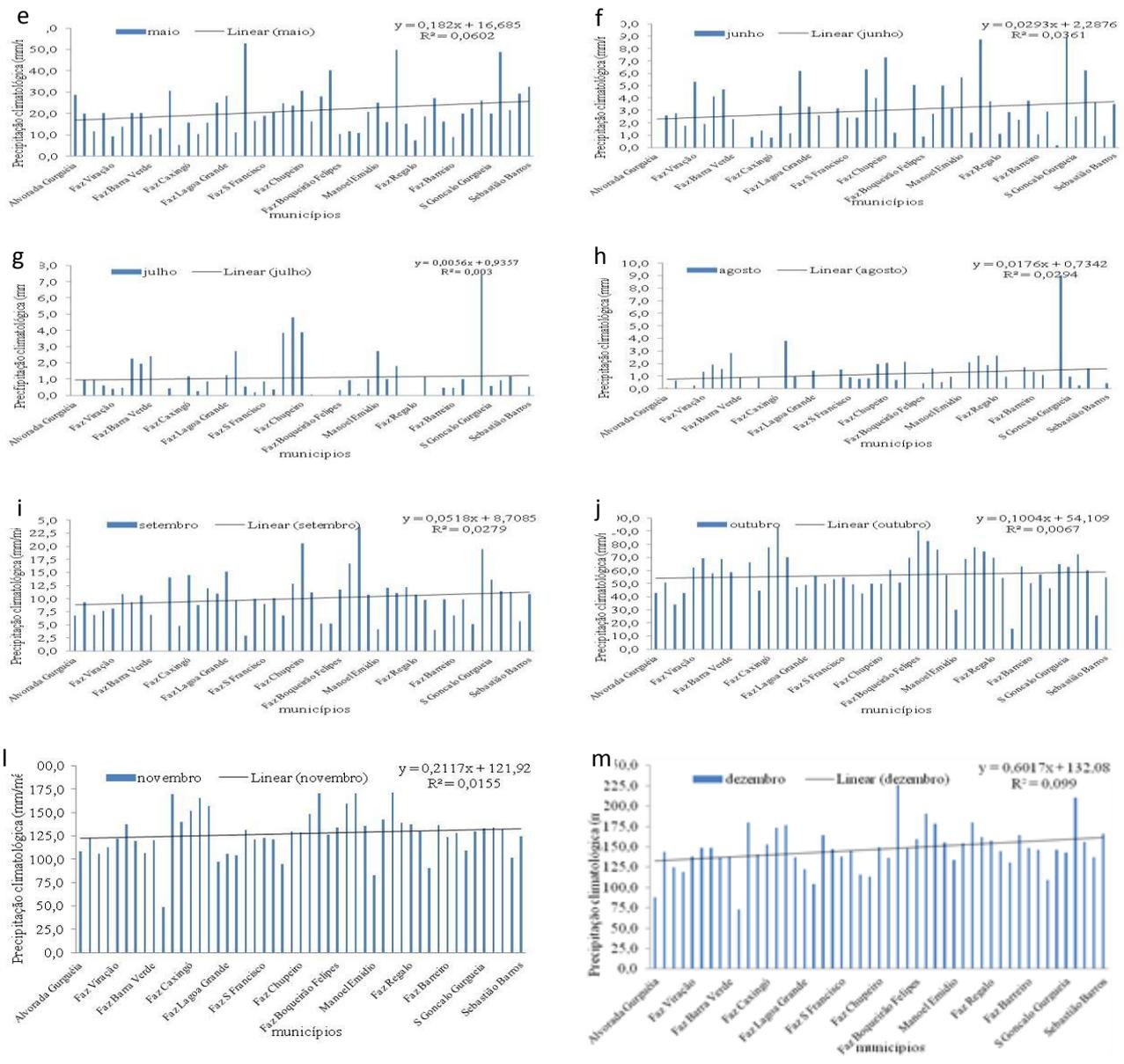


Figura 2. Distribuição espaço temporal da regressão linear das precipitações pluviométricas mensais de janeiro a dezembro, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI. (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril; (e) maio; (f) junho; (g) julho; (h) agosto; (i) setembro; (j) outubro; (l) novembro e (m) dezembro.

Fonte: Medeiros (2014).

A figura 3 (a, b, c) tem-se a distribuição da precipitação (mm): (a) média anual; (b) quadrimestre seco e (c) quadrimestre chuvoso para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.

Na Figura 3a tem-se o comportamento da distribuição da precipitação anual na área da BHRUP, os quais destacaram um acréscimo no sentido leste oeste, observa-se área de máxima pluviometria na altura do município de Santa Filomena e contornando a área costeira oeste da referida bacia, a pluviosidade ainda é predominante no setor oeste das áreas sul, central e sul da região norte. A leste da bacia tem-se área com baixos índices pluviométricos e destacam-se suas flutuações de acréscimo para o centro da referida bacia.

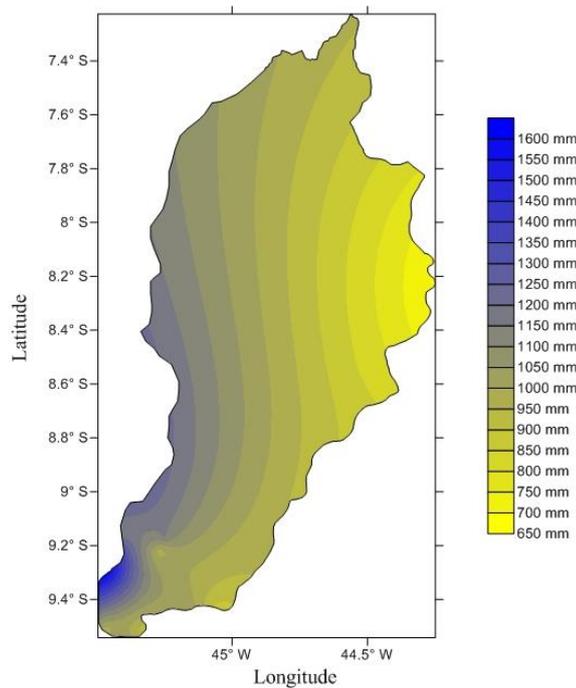


Figura 3a. Precipitação (mm) da média anual para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.

Na Figura 3b destacar-se que a ocorrência das chuvas para o quadrimestre chuvoso ocorre com maiores significâncias na parte central da bacia para o sentido oeste, no setor este até a metade da bacia concentram-se os menores índices pluviométricos, estas chuvas são de baixas magnitudes e de curto intervalo de tempo.

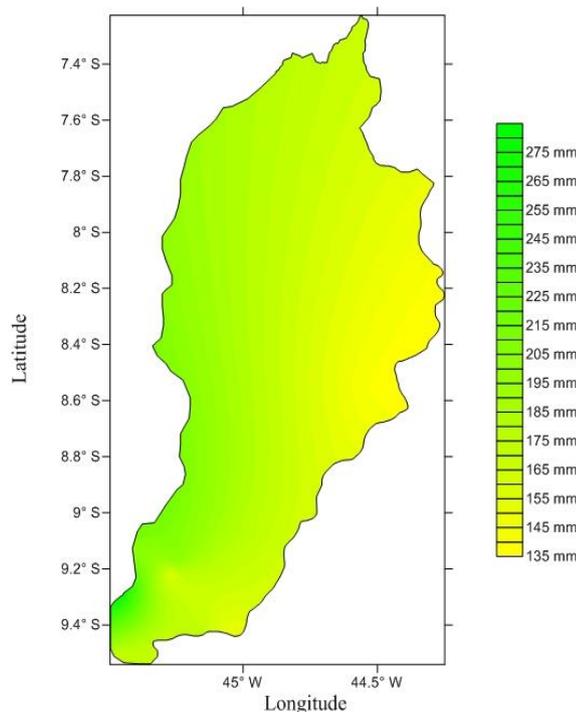


Figura 3b. Precipitação (mm) do quadrimestre chuvoso para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.

Na Figura 3c tem-se o comportamento do quadrimestre seco na qual se destaca os maiores índices pluviométricos na região sul e a sua redução gradativa até a região norte onde se observa os menores índices pluviométricos.

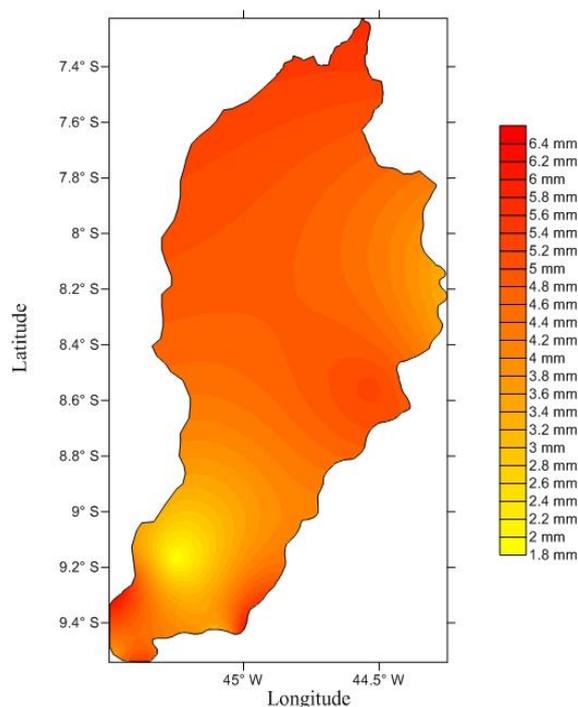


Figura 3c. Precipitação (mm) do quadrimestre seco para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.

### Tendência futura mensal e anual

Na Tabela 2 verifica-se que os melhores coeficientes de determinação da regressão ( $R^2=0,1005$ ;  $0,1342$  e  $0,099$ ) para os meses de janeiro, março e dezembro e os piores coeficientes de determinação da regressão foram os meses de julho e outubro e novembro respectivamente ( $R^2=0,003$  e  $0,0067$ ). Quando o valor é maior, indica o grau de aproximação do modelo às médias, e quando é menor indica o grau de distanciamento do modelo às médias, indicando um resultado não satisfatório.

Tabela 2. Equação linear, coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ), média histórica mensal e total anual da precipitação pluvial da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Mês	Equação linear	$R^2$	Média
Janeiro	$Y=0567x+158092$	0,1005	175,9
Fevereiro	$Y=0,4916x+144,28$	0,0549	162,2
Março	$Y=0,7091x+138,31$	0,1342	158,8
Abril	$Y=0,4494x+90,315$	0,0541	105,2
Maio	$Y=0,182x+16,685$	0,0602	22,4
Junho	$Y=0,0293x+2,2876$	0,0361	3,2
Julho	$Y=0,0056x+0,9357$	0,003	1,2
Agosto	$Y=0,0176x+0,7342$	0,0294	1,2
Setembro	$Y=0,0518x+8,7085$	0,0279	10,0
Outubro	$Y=0,1004x+54,109$	0,0067	57,5
Novembro	$Y=0,2117x+121,92$	0,0155	128,1
Dezembro	$Y=0,6017x+132,08$	0,099	149,0

Figura 3. Tem-se o demonstrativo do histograma da média pluviométrica climatológica e tendência polinomial na área da BHRUP. Onde observa-se a Figura 3 que os meses de outubro

a abril concentram os maiores índices mensais médios de precipitação, com valor médio do período de 9363,8 mm, correspondendo a 96% da precipitação anual. Os meses com os menores índices pluviométricos variaram entre maio a setembro, que correspondem a 4% do total anual, mostrando-se ao longo do tempo, uma variabilidade espaço temporal característico da região dos cerrados e cerrado.

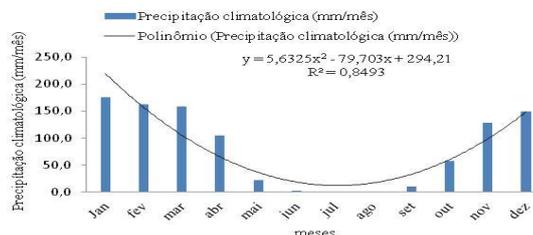


Figura 3. Histograma da média pluviométrica climatológica e tendência polinomial na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. Fonte: Medeiros (2014).

### Análise estatística

Na Tabela 3 verifica-se que os valores da média e da mediana foram desconexos, mostrando que houve a presença de valores extremos discordantes na amostra. O mês de máximo índice pluviométrico é janeiro com 175,9 mm, os menores índices ocorreram entre os meses de junho, julho e agosto, com 3,2 mm; 1,2 mm e 1,2 mm respectivamente. Observa-se que a mediana apresentou valores superiores a média para o referido período, e nos meses de menores precipitações a mediana foi nula. Destaca-se que os valores máximos ocorridos em quase todos os meses tiveram uma variação maior que a média anual, indicando uma dispersão no índice pluviométrico. No desvio padrão observou-se a influência dos menores desvios nos meses de maio a setembro com flutuação entre 1,5 a 13,3 mm, sendo o mês de fevereiro o de maior desvio (50,2 mm), mostrando a dispersão contundente dos dados. As variabilidades mensais na mediana indicam que esta medida de tendência central pode não ser o valor mais provável de ocorrer nesse tipo de distribuição. É notável ainda, que as médias mensais superaram os valores medianos. Visto assim, os modelos de distribuição de chuvas mensais são assimétricos, com coeficiente de assimetria positivo. Com isto, a mediana tem maior probabilidade de ocorrência do que a média, conforme resultados encontrados por Almeida e Pereira (2007).

Tabela 3. Medidas de tendência central e de dispersão da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI

Meses	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Mediana (mm)	Coef. Variância (%)	Prec. Máx (mm)	Prec. Mín (mm)
Janeiro	175,9	33,0	177,0	0,187	319,0	124,7
Fevereiro	162,2	50,2	150,2	0,310	438,6	115,3
Março	158,8	34,7	122,2	0,218	302,3	111,9
Abril	105,2	37,9	98,3	0,360	283,5	62,8
Maio	22,4	13,3	28,6	0,593	77,1	5,3
Junho	3,2	2,6	0,0	0,819	13,1	0,0
Julho	1,2	1,6	0,0	1,349	7,5	0,0

Agosto	1,2	1,5	0,1	1,267	9,0	0,0
Setembro	10,0	4,4	6,8	0,444	23,7	0,0
Outubro	57,5	18,7	42,9	0,325	103,4	0,0
Novembro	128,1	25,3	108,3	0,198	178,2	48,4
Dezembro	149,0	30,9	88,0	0,208	248,8	73,3
Anual	916,0	214,3	625,3	0,234	1851,6	478,7

Legenda: Coef. Variância = coeficiente de variância; Prec. Máx = Precipitação máxima absoluta; Prec. Mín = Precipitação mínima absoluta.

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Verificou-se que o Índice de Anomalia de Chuva pode ser utilizado como ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, nesse caso a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, além de ser utilizado para regionalização, podendo também, através desse monitoramento gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local.

Com base nos resultados verificou-se que a mediana é a medida de tendência central mais provável de ocorrer à estação chuvosa entre os meses (outubro a abril) com valor médio do período de 936,8 mm, correspondendo a 96% da precipitação anual. Em 30 anos de precipitação observados tem-se uma média climatológica de 916 mm ano<sup>-1</sup>.

Foi observada tendência crescente ou decrescente de chuvas para todos os 49 locais analisados na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, como há tendência de variabilidade de precipitação nas cabeceiras do rio, esse fato é positivo para agricultura e setores dos recursos hídricos, na área em estudo, que também sofrem com efeitos antrópicos sobre os recursos hídricos, degradando-os e pondo em risco a sustentabilidade dos recursos naturais locais. A partir de tendências climáticas pode otimizar a agricultura, diminuindo as perdas ou minimizando a irrigação.

Conforme a análise de regressão linear da série histórica de precipitação dos municípios que compõem a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, a tendência de maior variabilidade da precipitação centra-se entre os meses de outubro a abril, que possui elevados índices de chuva para a região e os menores índices pluviométricos centra-se entre os meses de maio a setembro, que possui baixos índices pluviométricos.

A possibilidade de ocorrência de eventos extremos com chuvas de alta magnitude e em curtos intervalos de tempo será esperada.

Utilizando o teste de significância estatística t de Student, foi observado que os dados de precipitação são, de modo geral, 99% significativos.

Na utilização do teste Mann-Kendall os dados de precipitações são se adequaram ao referido estudo.

Foram observadas tendências crescentes ou decrescentes de chuvas para todos os 49 locais analisados na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, como a tendência de variabilidade de precipitação nas cabeceiras do rio, esse fato é positivo para agricultura e setores dos recursos hídricos, na área em estudo, que também sofrem com efeitos antrópicos sobre os recursos hídricos, degradando-os e pondo em risco a sustentabilidade dos recursos naturais locais. A partir de tendências climáticas pode-se programar e planejar os recursos hídricos de uma região, assim possibilitando otimizar a agricultura e a economia, diminuindo as perdas.

Para esta área do estudo há possibilidade de ocorrência de eventos extremos com chuvas intensas em curtos intervalos de tempo é esperada.

# BALANÇO HÍDRICO COMO PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO E HIDROLÓGICO VISANDO MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Raimundo Mainar de Medeiros  
Milla Nobrega de Menezes Costa  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

As informações das condições climáticas de um determinado local e/ou região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a produtividade agropecuária e hidrológica.

A precipitação é fundamental para a caracterização climática (Ferreira da Costa, 1998), e o seu monitoramento tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, por exemplo, são essenciais para estudos como os de D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio et al. (2007) e Coe et al. (2009), que concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e na precipitação.

O clima também exerce grande influência sobre o ambiente, atuando como fator de interações entre componentes bióticos e abióticos. O clima de qualquer região, situada nas mais diversas latitudes do globo, não se apresenta com as mesmas características em cada ano (Soriano, 1997). Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido), como o Nordeste do Brasil e em especial o Estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, principalmente, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos (Paula et al., 2010). Dentre os elementos do clima de áreas tropicais, a precipitação pluviométrica é o que mais influencia a produtividade agrícola (Ortolani e Camargo, 1987), principalmente nas regiões semiárida, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (Santana et al., 2007), em função disto a sazonalidade da precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco a seis meses no período chuvoso (Silva, 2004).

As variações no regime hídrico e climático são os fatores que mais atuam na limitação da produção agrícola mundial. De acordo com Ortolani e Camargo (1987) a frequência e a distribuição inadequada das precipitações são responsáveis por 60 a 70% da variabilidade final da produção agrícola. O conhecimento histórico das condições climáticas é importante para efetuar o planejamento dos cultivos e o manejo a ser realizado durante o ciclo da cultura, observando-se cuidadosamente a variabilidade da precipitação e a intensidade da evapotranspiração, o que pode ser evitado, ou, reduzir ao máximo a ocorrência de déficit hídrico.

A utilização do balanço hídrico para uma região é de suma importância, pois o mesmo considera o solo e sua textura física, a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas e o movimento de água da localidade durante todo o ano.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o BHC permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O BHC como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos em conformidade com Lima (2009).

O BH é uma primeira avaliação de uma região, que se determina a contabilização de água de uma determinada camada do solo onde se define os períodos secos (deficiência hídrica) e úmidos (excedente hídrico) de um determinado local (Reichardt, 1990), assim, identificando as áreas onde as culturas e a indústria pode ser explorada com maior eficácia (Barreto et al., 2009).

O balanço hídrico é utilizado para estimar parâmetros climáticos e realizar comparações entre as condições climáticas predominantes em regiões diferentes. Se o mesmo método de cálculo do balanço hídrico for adotado para todas as localidades de uma mesma região, é possível identificar as regiões que apresentam condições climaticamente favoráveis para a exploração de uma determinada cultura a partir da comparação dos resultados obtidos. Tornando-se uma importante ferramenta que tem possibilitado grandes avanços aos estudos da agrometeorologia.

Toda sociedade se distribui em um sistema espacial que evolui ao longo do tempo. Qualquer ação de incremento, avanço ou retrocesso desta, se registrará no espaço. Assim, analisar a bacia hidrográfica significa observar a complexidade sistêmica deste ambiente, sua singularidade e o seu intrincado processo de uso e ocupação.

No que se refere às práticas econômicas desta área, evidencia-se a preponderância das atividades relacionadas à agricultura, pecuária e ao extrativismo. Apesar desta premência, a funcionalidade dos ambientes naturais do cerrado no sul piauiense tem sido alterada pelas ações humanas em um ritmo mais intenso que aquele normalmente produzido pela natureza. Quando não planejadas, tais alterações proporcionam uma série de desequilíbrios funcionais que, muitas vezes, acarretam consequências drásticas a vida humana. Assim, para Ross (2003), é inequívoco que qualquer interferência realizada nos sistemas naturais, necessite de estudos que levem ao diagnóstico, ou seja, a um conhecimento do quadro ambiental onde se deseja atuar.

O estudo das variáveis hidroclimatológicas de uma área tende a subsidiar projetos de irrigação, alternativas para conservação do solo, obras de engenharia e avaliação dos impactos decorrentes da mudança de uso da terra, segundo Santos (2004). Para obter determinada análise quantitativa pode-se utilizar o balanço hídrico. Esse, quando empregado de maneira sequencial, possibilita quantificar as necessidades de irrigação em uma cultura e relacionar o rendimento das culturas com o déficit hídrico (Varejão-Silva, 2005). Desta forma é evidente a importância da utilização de dados meteorológicos para avaliação do potencial agroclimático de uma região.

Conhecendo os índices hídricos e de aridez relacionados à pluviosidade é possível gerar dados multitemporais que caracterizem as relações entre a atmosfera e o sistema solo-planta, permitindo assim, destacar os períodos anuais que sofrem com perdas hídricas, bem como apontar aqueles com excedente hídrico.

Silva et al. (2013) mostrou que o Estado do Piauí tem condições climáticas diferenciadas, com oscilação nos índices pluviométricos cuja origem é bastante individualizada, apresentando também temperaturas médias anuais relativamente variáveis. As precipitações pluviométricas apresentam grande variabilidade espacial e temporal, mostrando dois regimes chuvosos: no sul do Estado chove de novembro a março; no centro e norte, a estação chuvosa tem início em dezembro, prolongando-se até maio. Os índices pluviométricos variam entre 700 e 1.300 mm na região sul, entre 500 e 1.450 mm na região central e entre 800 e 1.680 mm no norte do Estado. Objetivou-se analisar as variabilidades pluviométricas municipais entre os diferentes regimes pluviométricos para o Estado do Piauí (regiões Norte; Central e Sul), e comprovar que se têm

áreas comuns de ocorrências de chuvas com os seus respectivos sistemas provocadores e inibidores. Na região Norte os índices pluviométricos têm uma distribuição mais regular que nas áreas Central e Sul, evidenciando os aspectos fisiográficos, relevo, fauna, flora e distância do mar. Devido à grande variação na pluviometria ao longo dos anos, pode-se observar que os fenômenos de macro, meso e micro escalas são de grande importância para os regimes de chuvas do Estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

Medeiros et al. (2013) mostrou que a variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por esse fenômeno, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade climática da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto-PI, enfocando tais variações como um meio para compreender futuras mudanças. Para realização deste trabalho foram utilizados dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e totais pluviométricos mensais e anuais no período de 1960 a 1990. Como resultado deste trabalho pode-se afirmar que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, bem como, para a saúde humana. A partir dos dados, verifica-se, também, que a umidade relativa do ar está diminuindo ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado com o aumento da temperatura e conseqüentemente com uma maior evaporação das águas. Sobre os totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que esse aumento pode estar relacionado com o aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma maior evaporação e conseqüentemente uma maior precipitação.

A importância de compreender melhor a dinâmica na bacia do rio Uruçuí Preto, inserida na área do cerrado sudoeste do Estado do Piauí, congregada a inexistência de estudos desta natureza nortearam este artigo, tendo como principal objetivo disponibilizar maiores informações sobre os aspectos climáticos da área da BHRUP, estabelecendo o BH climático de Thornthwaite como ferramenta ao planejamento agropecuário e hidrológico com visão as mudanças climáticas e a realização do balanço hídrico climatológico entre os anos de 1960 a 1990.

### **Balanço hídrico climatológico**

No NEB, em especial a área de estudo que frequentemente enfrenta os problemas da seca, estiagens, alagamentos e inundações prolongadas dentro do período chuvoso, estas condições se tornam ainda mais graves (Nobre e Melo, 2001). Atualmente é enorme a demanda por recursos hídricos, é importante o conhecimento, do ciclo da água, principalmente das variáveis climáticas, precipitação evapotranspiração, evaporação, umidade relativa do ar (Horikoshi, 2007). Assim, de acordo com (Camargo, 1971; Horikoshi, 2007), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água ao longo do ano, é necessário comparar dois termos contrários do balanço, a precipitação (responsável pela umidade para o solo) e a evapotranspiração que utiliza essa umidade do solo. Segundo (Pereira et al., 2002; Horikoshi, 2007), a água disponível para o consumo e uso do homem pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, em que fica evidente a variação temporal de períodos com excedente e com deficiência hídricas, permitindo, dessa forma, o planejamento agrícola e pecuário.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O balanço hídrico como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos e também a viabilidade de implantação e monitoramento de sistemas de irrigação ou drenagem numa região. (Lima e Santos, 2009).

Thornthwaite e Mather (1948; 1955) elaboraram um sistema de contabilidade para obter os déficits e/ou excessos de água, a que denominaram balanço hídrico. Neste balanço o solo é um “depósito”, a precipitação é a “entrada” e a evapotranspiração representa a “saída”. Partindo-se de uma capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao tipo de planta cultivada, produz resultados úteis para a caracterização climatológica da região e informa sobre a distribuição das deficiências e excessos de precipitação, do armazenamento de água no solo, tanto na escala diária como mensal.

Medeiros et al. (2013) mostraram que conhecer o clima local é um fator importante para planejar os recursos hídricos, haja vista que vários elementos meteorológicos estão inseridos no ciclo hidrológico. Os autores avaliaram a estimativa dos balanços hídricos climatológicos (BHC) e suas classificações segundo Köppen e Thornthwaite e Mather para a área da bacia do rio Uruçuí Preto, PI. Os meses de maiores insolação ocorrem entre maio a outubro com flutuações variando de 223 a 297,1 horas e décimos. A umidade relativa do ar oscila entre 60 a 80% nos meses de novembro a maio. A retirada de água na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto ocorrem nos meses de agosto a janeiro, as deficiências hídricas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, a reposição das águas acontecem nos meses de fevereiro e março e os excedentes hídricos ocorrem entre os meses de abril a julho, desta forma conclui-se que a comunidade ribeirinha utiliza-se de sistema de irrigação nas atividades agrícolas independente dos períodos seco ou chuvoso.

### Considerações sobre o planejamento agrícola e pecuário da bacia do rio Uruçuí Preto

Das atividades econômicas, a agricultura e pecuária é, sem dúvida, aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas e as consequências de situações meteorológicas adversas levam constantemente à graves impactos sociais, e a enormes prejuízos econômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados (Pereira et al. 2002). Sendo assim, a evapotranspiração e a deficiência hídrica são os parâmetros indispensáveis para se determinar qualquer forma de manejo integrado dos recursos agrícolas, dentre eles, a utilização dos sistemas de irrigação, a adequação do manejo de pragas, períodos de plantio e colheita, correção de solos, dentre outros, auxiliar na estimativa da potencialidade produtiva de determinadas culturas, estabelecendo a possível resposta das oscilações climáticas.

Observa-se que no período analisado, ocorreu uma boa distribuição no regime pluviométrico o que contribui para a inexistência de longas estiagens que conseqüentemente proporcionariam elevados índices de retiradas hídricas do solo, fato que colabora com o elevado potencial agrícola da bacia do rio Uruçuí Preto, a Tabela 2 apresenta os principais cultivos explorados na área.

Tabela 2. Produção dos principais produtos agrícolas na área da BHRUP

Municípios/cereais/frutas	Feijão	Mandioca	Milho	Castanha de Caju	Soja	Banana	Arroz
Alvorada do Gurguéia	941	800	4428	181	12012	192	2654
Avelino Lopes	103	720	735			50	29
Barreiras do Piauí	30	729	195	2		42	50
Bom Jesus	2854	1440	8985	80	91725	150	7448
Colônia do Gurguéia	198	180	752	58		36	200
Corrente	180	1772	1764	14	225	200	336
Cristândia do Piauí	100	750	1000		240	35	648
Cristino Castro	120	1800	630	65		60	135
Curimatá	94	600	480			40	30
Currais	402	1200	780	6	34268	180	4161
Eliseu Martins	54	360	728	90		120	60
Gilbués	1374	1200	1770	4	37759	50	10020
Júlio Borges	62	360	409				13

Manoel Emídio	142	3114	600	30	4372	60	1281
Monte Alegre do Piauí	406	640	1222	4	26694	225	7030
Morro Cabeça no Tempo	80	500	350				24
Palmeira do Piauí	114	900	7671	56	22893	60	1790
Parnagua	154	1000	1400			30	106
Redenção do Gurguéia	279	240	720	24	4054	252	1080
Riacho Frio	108	600	495			100	100
S. Gonçalo do Gurguéia	80	645	360			28	60
Santa Filomena	1343	1080	20302		49250	200	19202
Santa Luz	264	600	2520	30		300	450
Sebastião Barros	75	1200	485			80	485

Fonte: IBGE, CEPRO, APPM.

Verifica-se ainda, a necessidade de um melhor acompanhamento e condicionamento hidroclimatológico, visto que grande parte das lavouras estabelecidas é caracterizada pela presença de espécies tropicais perenes, que primordialmente necessitam de uma distribuição termo pluviométrica equilibrada. Pereira et al. (2012), diante dos valores médios de armazenamento de água no solo, propõem para espécies tropicais perenes utilizou-se uma CAD de 100 mm.

Os meses de fevereiro e março que apresentam excedentes hídricos de 87,8 mm tal situação evidencia a indispensabilidade da irrigação, bem como, do acompanhamento das possíveis perdas de água em reservatórios.

Assim, o conhecimento destes fatores favorece o planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção, ou seja, disponibilizar e conhecer informações que permitam aos produtores identificar as fragilidades climáticas é essencial para o sucesso de um empreendimento agrícola sustentável, que opte por sistemas de irrigação precisos e adequados a suprir deficiência hídrica.

Segundo os dados do IBGE, em 2010, o setor agrícola do Estado do Piauí explorava 10.277.877 ha, as lavouras temporárias apresentavam-se predominantes, respondendo por 81,48% da área total cultivada contra 18,52% associados às lavouras permanentes. As bacias com maiores extensões de áreas cultivadas são as do Canindé/Piauí, Alto Parnaíba, Uruçuí Preto, Poti, Difusas da Barragem de Boa Esperança e Gurguéia.

Destacavam-se com maior percentual de área plantada as culturas da soja, milho, feijão, castanha de caju, arroz, mandioca e banana para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, são as que contribuem com maiores percentuais para a formação do Valor Bruto da Produção agrícola. Conforme tabela 2 as culturas de soja, arroz, milho e mandioca são as mais importantes, juntas respondendo por 71,24% da renda total gerada pelos cultivos agrícolas. A cultura da soja se sobressai, representando 36,0% do valor da produção estadual, seguida pelas culturas de arroz, milho e mandioca, que chegaram a representar, respectivamente, 14,95%, 12,55% e 7,71% do valor total da produção agrícola estadual. Outro impedimento na grande expansão agrícola no Estado são as grandes secas que ocorreram e vem ocorrendo prejudicando desta forma uma produtividade mais elevada, visto que em sua maioria os plantios ocorrem sem ajuda de irrigação.

A irrigação é empregada por um número insignificativo de produtores rurais, onde suas maiores concentração de áreas irrigadas são observadas nas regiões produtoras de soja e arroz.

Os registros históricos mostram que a colonização do Estado deu-se por criadores de gado que penetraram o território piauiense através do rio São Francisco, vindos principalmente da Bahia e de Pernambuco. Nesta época o Piauí funcionava como "ponte" entre as capitânias de Pernambuco e Maranhão.

A atividade pecuária, que se apresenta como a mais representativa na formação da renda agropecuária, encontra-se disseminada em todo o território estadual, estando representada principalmente pelo plantel bovino, voltado para corte e leite.

O desenvolvimento econômico do Estado do Piauí foi lento e basicamente concentrado nas margens do rio Parnaíba e seus afluentes de caráter perene. A criação de gado foi em grande parte quem determinou a distribuição demográfica, a disponibilidade de mão de obra, capitais e a própria estrutura fundiária, tendo como principais produtos os derivados do gado. Atualmente a produção de animal vem melhorando significativamente, a criação de gado continua mais fortalecido com rebanhos de melhores qualidades tanto em tipo como geneticamente modificados, a produção de aves vem se destacando em toda, região oferecendo empregos e melhores condições de vida as comunidade da área de estudo, outra produção de animal que esta em pleno desenvolvimento é as criações de caprinos, ovinos e suínos apresentando rebanhos em desenvolvimento e de alta desempenho com distribuição em quase todos os municípios da área de estudo, conforme demonstrativo na tabela 3.

Tal desenvolvimento de criações se deve a infraestrutura desenvolvida pela associação dos criadores de Zebus na área referenciada.

Tabela 3. Produção animal da área da BHRUP

municípios/animais	Assinos	Aves	Bovinos	Caprinos	Equinos	Muares	Ovinos	Suínos
Alvorada do Gurguéia	378	18990	9880	560	420	90	2632	1747
Avelino Lopes	880	29995	12008	5850	702	204	6802	2834
Barreiras do Piauí	22	6395	8280	1110	110	33	350	668
Bom Jesus	330	22351	30351	466	891	240	1156	865
Colônia do Gurguéia	99	6207	3771	666	240	23	523	580
Corrente	463	53812	44801	2120	2341	228	5580	5518
Cristândia do Piauí	230	23380	22110	2980	1203	183	2806	2330
Cristino Castro	345	21260	8176	245	390	102	1945	1546
Curimatá	780	24580	21485	3481	1060	151	7893	2053
Currais	235	16062	6473		180	75	335	284
Eliseu Martins	202	9943	9044	1838	1004	65	1043	1367
Gilbués	550	25714	11154	2050	961	359	1280	3014
Júlio Borges	552	18100	11980	7610	590	143	2600	1830
Manoel Emídio	393	14785	8420	366	416	65	973	1403
Monte Alegre do Piauí	415	26500	13988	1270	680	252	1900	1800
Morro Cabeça Tempo	411	5800	6570	1580	258	50	1900	805
Palmeira do Piauí	278	22126	10053	86	350	135	758	762
Paranaguá	400	28805	39120	1400	1664	168	3680	2300
Redenção do Gurguéia	66	14320	12984	500	394	115	354	904
Riacho Frio	291	17863	19024	247	900	147	1748	877
S. Gonçalo do Gurguéia	330	8500	5001	250	333	20	830	1501
Santa Filomena	183	14008	12980	148	317	400	603	1603
Santa Luz	169	7987	4128	157	201	33	151	436
Sebastião Barros	153	22300	24101	1580	1260	56	3890	1650

Fonte: IBGE, CEPRO, APPM.

## Materiais e métodos

A área de interesse do estudo dispõe de uma rede de estações meteorológicas reduzida e espacialmente mal distribuída, o que dificulta uma boa caracterização das condições climáticas. Sendo assim, utilizou-se de dados interpolados, estimados e gerados por retas de regressões lineares múltiplas, através do software Estima\_T (Cavalcanti et al. 2006). Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 2013) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

Utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather (1948; 1955), que demanda de informações de precipitação e temperatura média do ar para a realização dos cálculos do balanço

hídrico, através do programa desenvolvido em planilhas eletrônicas por Medeiros (2013) para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI (BHRUP).

## Resultados e discussão

O resultado do balanço hídrico médio mensal para a área da BHRUP está representado Tabela 1 e na Figura 1, permitindo uma melhor visualização da variação dos principais dados mensais Agrometeorológico ao longo do ano. contém os dados mensais de evapotranspiração real, evaporação real, deficiência hídrica, excedente hídrico e dos índices de aridez, umidade e hídrico para uma CAD de 100 mm. A relevância de se verificar o comportamento sazonal dos períodos de deficiência, excedente, retirada e reposição de água para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, ao analisar o balanço hídrico climatológico de 1960 a 1990.

A BHRUP apresenta uma precipitação anual de 916 mm, com trinta anos de dados observados, os seis meses mais chuvosos são os meses de novembro a março com oscilações entre 105,2 a 175,9 mm, respectivamente, e os meses de maio a setembro com índices pluviométricos variam de 1,2 a 22,4 mm, evapotranspirando 90,0% dos índices das chuvas ocorridos, ocorrendo deficiência hídrica nos meses de abril a novembro e excedentes hídricos nos meses de fevereiro e março.

Nos meses de dezembro a março ocorre um equilíbrio entre a evapotranspiração (ETP) e a evaporação (EVR), nos demais meses a ETP supera a EVR com mais de 40% acima do seu valor. Isso ocorre porque a evapotranspiração real é bem próxima da potencial e seus dados são difíceis de serem obtidos, porque requerem tempo de observação e aparelho mais sofisticados.

O balanço hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto (Tabela 1) demonstra que os meses de déficit hídrico (abril a dezembro) apresentam uma média 51,9 mm e suas flutuações oscilam entre 1,5 mm em abril a 149,2 mm em setembro, os meses de julho a outubro ocorrem os maiores índices de deficiências hídricas.

Tabela 2. Valores médios dos componentes do balanço hídrico climático. T<sub>méd</sub> = temperatura média do ar, Prec = precipitação pluviométrica, EPT = evapotranspiração potencial, EVR = evaporação real, DEF = deficiência hídrica, EXC = excedente hídrico.

Meses	T <sub>méd</sub> (°C)	Prec (mm)	EPT (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,0	175,9	114,0	114,0	0,0	0,0
Fev	25,2	162,2	108,7	108,7	0,0	39,2
Mar	25,8	158,8	128,9	128,9	0,0	30,0
Abr	25,9	105,2	122,9	121,5	1,5	0,0
Mai	25,9	22,4	125,6	76,3	49,3	0,0
Jun	25,4	3,2	110,5	22,8	87,7	0,0
Jul	25,5	1,2	115,3	8,1	107,2	0,0
Ago	26,5	1,2	134,6	3,6	131,1	0,0
Set	27,9	10,0	160,2	10,7	149,5	0,0
Out	27,8	57,5	166,3	57,6	108,7	0,0
Nov	26,4	128,1	136,6	128,1	8,4	0,0
Dez	25,4	149,0	125,3	125,3	0,0	0,0
Anual	25,0	916,0	1548,9	905,5	643,4	69,2

Fonte: Medeiros (2014).

Ocorrem excedentes hídricos nos meses de fevereiro e março. As deficiências hídricas ocorrem nos meses de abril a novembro num total de 643,4 mm. A evapotranspiração potencial anual foi de 1548,9 mm, com índices mensais oscilando entre 108,7 mm (fevereiro) a 166,3 mm (outubro). A evaporação real acompanhou de certa forma, a trajetória anual das chuvas, ou seja,

destacando o período chuvoso e seco, com variações de 3,6 mm (agosto) a 128,9 mm (março) com um total anual de 905,5 mm (Tabela 1, Figura 1).

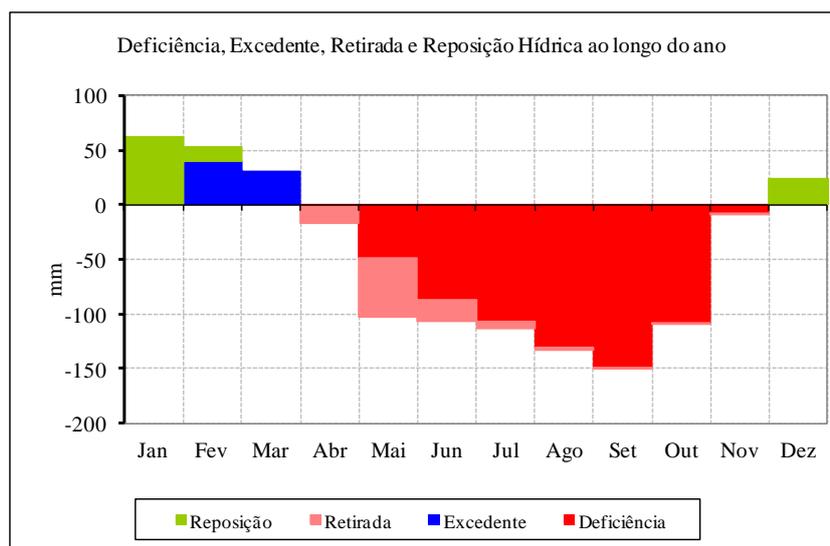


Figura 1. Balanço hídrico para a área da BHRUP. Método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 1960-1990.

Fonte: Medeiros (2014).

Considera-se que a deficiência hídrica é o resultado (negativo) do balanço hídrico no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é menor que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração por meio das plantas, o excedente hídrico representa resultado (positivo) do balanço hídrico no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é maior que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração pelas plantas; a retirada hídrica é a máxima capacidade de perda da quantidade total de água no solo e pelas plantas, e atinge cotas acima da deficiência; a reposição hídrica representa as primeiras chuvas que começam a repor a água, retirada na estação seca, ao solo.

Para os setores agropecuário e hidrológico da área da BHRUP, o balanço hídrico é fundamental para o estabelecimento de estratégias que visem minimizar perdas e aumentar na sua produção. No aspecto geral, a irrigação é uma forma artificial de suprir as necessidades hídricas das culturas e do agropecuário possibilitando o desenvolvimento morfológico e fisiológico e animal de forma otimizada conforme Barreto et al. (2003).

## Conclusões

É de extrema necessidade que os excedentes das chuvas sejam armazenados para a sua utilização no período menos chuvoso, deste modo contribuindo para a sobrevivência humana, animal, vegetal e agropecuário a desenvolverem suas tarefas.

Deve ter um bom planejamento de sustentabilidade para o setor agropecuário e hidrológico; pois as irregularidades das chuvas são extremas e deve ter como armazenar águas deste as chuvas da pré-estação ao final do período chuvoso.

Destaca-se que não foram verificadas tendências de mudanças climáticas sobre os índices pluviométricos e que estes índices podem ocorrer em curtos intervalos de tempo e com alta intensidade.

A área da bacia hidrográfica estudada não apresenta restrições de temperatura para a maioria dos cultivos adotados, mas o regime de chuvas, com uma estação seca bem definida (maio a outubro), associado a uma distribuição das chuvas durante a estação chuvosa com duração de tempo entre 8 a 10 horas de chuva descontínua diárias (novembro a abril) e a fertilidade de nutrientes dos solos, em geral, não exigem alto nível técnico para a produção agrícola

de plantio direto, sendo recomendável a adoção de práticas de manejo que visem conservar a água no solo. Redução de água de chuva nos meses de maio a outubro limita o uso da terra e que os proprietários podem usar água irrigada, tornando viável alguns tipos de cultivo nessa época do ano.

Na bacia constatou-se que os índices de precipitações são elevados intermunicipais, porém sua distribuição mensal é regular e as temperaturas são altas. Estes fatos são responsáveis pelos valores elevados da evapotranspiração potencial.

Constatou-se que o método proposto por Thornthwaite e Mather (1948, 1955) mostrou-se satisfatório, podendo ser empregado para o planejamento e gestão agrícola e pecuário da área em estudo. Vale ressaltar que é necessário incentivar estudos ambientais, sobretudo de natureza climatológica para o melhor dimensionamento do uso e ocupação das terras na bacia estudada.

O aumento de temperatura e a intensa radiação que ocorrer na área em estudo poderá alterar o ciclo das chuvas e, conseqüentemente, a evapotranspiração ficará mais acentuada, favorecendo a deficiência hídrica.

A atuação de fenômenos climáticos de escala global ou até mesmo em relação ao uso e ocupação da terra na área em estudo pelos processos de agricultura, pecuária, industrialização e urbanização, poderá vir a causar alterações consideravelmente às condições climáticas locais, regional e global.

A contribuição agropecuária da área em estudo é uma das fontes de rendimentos aos moradores da região e importante para a economia estadual.

# BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NA PREVISÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

O clima é formado por vários elementos como radiação solar, precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade do ar, vento (direção e intensidade), pressão atmosférica, evaporação entre outros, onde é importante analisar a ação desses no ambiente. A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro do esperado pode ter reflexos significativos nas atividades humanas. Porém vale ressaltar que as anomalias podem desestruturar tanto o sistema ambiental, quanto o socioeconômico.

Para compreender o clima de um determinado local, é preciso estudar os diversos tipos de tempo que costumam ocorrer durante vários anos seguidos. Os resultados obtidos nesse estudo é uma espécie de “síntese” dos tipos de tempo que ocorrem no local, ou clima. Tanto o “clima” como o “tempo” referem-se aos mesmos fenômenos atmosféricos: a temperatura e a insolação, a pressão atmosférica, os ventos, a umidade do ar e as precipitações (chuvas, neve, geada, orvalho e granizo) em conformidade com SILVA (1998).

O Brasil apresenta vasta dimensão continental e possui diferentes regimes de temperatura, devido às características sinóticas e dinâmicas associadas com atmosféricas que atuam sobre a América do Sul conforme Grim et al. (2006)

A contínua variação do estado de tempo traz conseqüentes modificações no meio físico em que se desenvolvem os vegetais e animais, tornando-se assim necessário, para melhor interpretação dos seus efeitos, o estudo dos fenômenos meteorológicos durante os anos e sua relação com as condições climáticas normais segundo OMETTO (1963).

Segundo Tucci (2003), o impacto do clima nos recursos hídricos é fato de grande relevância social e ambiental, já que, em situação extrema compromete a sustentabilidade social e ambiental. A avaliação do comportamento do clima em escala local por meio de alguns parâmetros meteorológicos, como precipitação e temperatura do ar média mensal, e dos parâmetros hidrológicos, como deficiência e excedente hídrico, para uso de cenários climáticos futuros, onde se pode confrontar dados atuais com dados históricos com a finalidade de verificar as conseqüências do aquecimento global no balanço hídrico climático em estudo.

As variações no regime hídrico e climático são os fatores que mais atuam na limitação da produção agrícola mundial. De acordo com Ortolani e Camargo (1987) a frequência e a distribuição inadequada das precipitações são responsáveis por 60 a 70% da variabilidade final da produção agrícola. O conhecimento histórico das condições climáticas é importante para efetuar o planejamento dos cultivos e o manejo a ser realizado durante o ciclo da cultura, observando-se cuidadosamente a variabilidade da precipitação e a intensidade da evapotranspiração, o que pode ser evitado, ou, reduzir ao máximo a ocorrência de déficit hídrico.

O balanço hídrico é utilizado para estimar parâmetros climáticos e realizar comparações entre as condições climáticas predominantes em regiões diferentes. Se o mesmo método de cálculo do balanço hídrico for adotado para todas as localidades de uma mesma região, é possível identificar as regiões que apresentam condições climaticamente favoráveis para a exploração de uma determinada cultura a partir da comparação dos resultados obtidos. Tornando-se uma

importante ferramenta que tem possibilitado grandes avanços aos estudos da agrometeorologia.

O estudo das variáveis hidroclimatológicas de uma área tende a subsidiar projetos de irrigação, alternativas para conservação do solo, obras de engenharia e avaliação dos impactos decorrentes da mudança de uso da terra, segundo Santos, (2004). Para obter determinada análise quantitativa pode-se utilizar o balanço hídrico. Esse, quando empregado de maneira sequencial, possibilita quantificar as necessidades de irrigação em uma cultura e relacionar o rendimento das culturas com o déficit hídrico (Varejão-Silva, 2005). Desta forma é evidente a importância da utilização de dados meteorológicos para avaliação do potencial agroclimático de uma região.

O ciclo hidrológico é uma sequência fechada de fenômenos naturais que pode ser divididos em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado no âmbito da Meteorologia e no ramo terrestre, sendo objeto da hidrologia. A superfície limítrofe dos fenômenos pertinentes a cada um desses ramos é a interface globo-atmosfera. Considera-se que o ramo aéreo do ciclo hidrológico se inicia quando a água é cedida à atmosfera, no estado de vapor, encerrando-se no momento em que é devolvida à superfície terrestre, no estado líquido ou sólido. O vapor d'água que surge na interface globo-atmosfera mistura-se ao ar por difusão turbulenta, sendo rapidamente transportado pelas correntes aéreas, e posteriormente encontra condições favoráveis e volta ao estado sólido ou líquido no interior da própria atmosfera, ou em algum outro ponto da superfície, em geral, muito distante do local em que se originou. A concentração de vapor d'água no ar é bastante variável, tanto no espaço como no tempo. Sob o ponto de vista puramente meteorológico, a variação da concentração de vapor d'água influi significativamente na energética da atmosfera de acordo com Peixoto (1969).

O conhecimento da quantidade de vapor d'água existente no ar é essencial em vários outros ramos da atividade humana. Sabe-se, por exemplo, que a umidade no ar está diretamente relacionada com a transpiração vegetal, além de influenciar na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos segundo Neto et al. (1976). Sabe-se também que umidade do ar é um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental para todos os seres vivos, porém este parâmetro é pouco explorado na bibliografia atual, o que demonstra a necessidade de se conhecer melhor suas variações espaciais e temporais.

A temperatura do ar também é um parâmetro que manter o conforto ambiental, exerce função importante em processos como: fotossíntese, respiração e evapotranspiração, tendo efeito claro no desenvolvimento dos seres vivos. É importantes elementos meteorológicos, pois traduz os estados energéticos e dinâmicos da atmosfera e conseqüentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos em conformidade com Dantas et al. (2000).

O conhecimento do comportamento das variáveis climáticas é de suma importância para o planejamento das atividades agrícolas. E a temperatura do ar destaca-se na condução de estudos concernentes à ordenação agrícola, uso do solo, zoneamento ecológico e aptidão climática, época de semeadura, estimativa do ciclo das culturas, dentre outras (Oliveira Neto et al. (2002).

Medeiros et al. (2014) Avaliou o balanço hídrico para a área da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto, Piauí. O método utilizado foi o do balanço hídrico simplificado (BHS). Os dados utilizados foram de precipitação pluvial e vazão diária do período de 2004 a 2011. Os altos valores de evapotranspiração demonstram serem necessários significativos volumes de água para a manutenção ambiental na bacia do Rio Uruçuí Preto. Pelo balanço hídrico a evapotranspiração potencial média estimada anualmente foi de 1.470,7 mm, o que representa cerca de 62,14% das entradas na bacia, sendo ligeiramente maior que a vazão com 348,8 mm (28,9%). Portanto, mais de um terço dos recursos hídricos disponíveis na bacia são utilizados na transpiração, es-

pecialmente da vegetação e evaporação da água na bacia do rio Uruçuí Preto. Os anos com maiores índices pluviométricos e descarga líquida foram os anos sobre influência do fenômeno La Niña

Medeiros et. al. (2013) analisaram a variabilidade climática da umidade relativa do ar, da temperatura máxima do ar e da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto-PI, enfocando tais variações como um meio para compreender futuras mudanças. Utilizam dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e totais pluviométricos mensais e anuais no período de 1960 a 1990. Como resultado afirmaram que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, bem como, para a saúde humana. A partir dos dados, verificaram que a umidade relativa do ar está diminuindo ao longo da série estudada, fato que pode estar relacionado com o aumento da temperatura e conseqüentemente com uma maior evaporação das águas. Sobre os totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que esse aumento pode estar relacionado com o aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma maior evaporação e conseqüentemente uma maior precipitação.

O efeito estufa vem sendo diagnosticado como a causa principal das mudanças climáticas, causando efeitos ambientais adversos, provocando aumento de temperatura; mudança no regime hidrológico, e aumento ou redução de precipitações e nos índices evaporativos em algumas regiões ou locais, intensificando as variações espaço temporais nos índices de chuvas; como também elevação do nível médio do mar, favorecimento de queimadas e perda de biomas de acordo com o IPCC (2007) e Bates et al. (2008).

Os impactos de mudanças do clima sobre uma bacia hidrográfica pode ser realizada a partir das simulações dos próprios modelos climáticos conforme Milly et al. (2005) e UK Met Office (2005) onde utilizaram-se dados de precipitação e a temperatura do ar calculado no modelo como dado de entrada em modelos hidrológicos de acordo com Vicuna et al. (2007) e Maurer et al. (2009).

Atualmente, não é consenso na comunidade científica que as mudanças climáticas globais sejam oriundas das atividades antropogênicas segundo Molion (2008). Todavia, as mudanças climáticas em escala regional e local são bem documentadas, o exemplo mais significativo ocorre no ambiente urbano, no qual diversos estudos têm mostrado que as cidades criam um clima típico, decorrente dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo de conformidade com os autores, Offerle et al. (2005); Coutts et al. (2007); Alves e Specian (2009).

Diante das inseguranças e dos problemas de se prever com segurança cenário futuro decorrente de mudanças climáticas, é aceitável avaliar os impactos causados com base em vários cenários de mudança climática, buscando-se a concepção dos mecanismos hidroclimatológicos de uma bacia hidrográfica conforme Jiang et al. (2007).

A prática do planejamento urbano, por muito tempo, ignorou as conseqüências de modificações ambientais que o processo de expansão urbana ocasiona. Consideravam-se apenas os aspectos sociais, culturais e econômicos para fins de planejamento, com conseqüentes riscos à sustentabilidade do ambiente urbano.

Adequar o ambiente construído ao clima de um determinado local significa criar espaços que possibilitem ao homem melhores condições de conforto. Nesse sentido, a compreensão de clima e de como este interage com o meio é de fundamental importância para o trabalho dos planejadores urbanos. Isto se deve à necessidade de se definir princípios apropriados à boa gestão do espaço construído, com vistas à produção de ambientes adequados ao conforto, sobretudo no que diz respeito às sensações térmicas.

A utilização dessa metodologia é justificada em razão de estar em consonância com as amplitudes de variação de precipitação e de temperatura estimadas para regiões do Nordeste Brasileiro e apresentadas nos trabalhos de INPE (2007), Souza Filho (2003) e Azevedo (1999).

A realização do balanço hídrico climatológico (BHC) através do método de Thornthwaite e Mather (1948; 1955) utilizando-se das médias anuais de precipitação e temperatura de 30

anos (1960-1990) para averiguar se existem tendências de aquecimento e de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI e seu entorno (BHRUP).

## Material e métodos

O balanço hídrico climatológico foi realizado através das médias anuais de precipitação e temperatura para o período de 1960 a 1990 com base em 25 postos pluviométricos municipais e 24 postos pluviométricos localizados em áreas de fazenda dentro da área de estudo.

Os dados pluviométricos foram adquiridos através da Superintendência do desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER-PI), os dados das temperaturas médias mensais e anuais do ar foram estimadas através da utilização de um software “Estima-T”, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba, Brasil, referente ao período de 1950 a 2012, que esta disponibilizada no seguinte site: [www.dca.ufcg.edu.br](http://www.dca.ufcg.edu.br). De acordo com Cavalcanti et al. (1994).

Foi realizada a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) e determinado os índices de umidade, hídrico e de aridez para verificar se há características de mudanças climáticas na região, ou seja, de semiárido para árido. Foi realizado o balanço hídrico com os dados do ano mais chuvoso da década para comparação da classificação climática e do cenário hídrico da região.

## Resultados e discussão

Considerando a complexidade que caracteriza os mecanismos climáticos que produzem as precipitações no Estado, tem-se como principal efeito a forte variabilidade das precipitações, ou seja, observa-se uma grande irregularidade tanto temporal quanto espacial, inter e intra anual e municipal. Variabilidade esta que gera problemas hídricos, às vezes, dramáticos, como as grandes inundações, com perdas e destruições generalizadas e as secas periódicas, de consequências ainda mais danosas.

De modo particular, o Estado do Piauí, localizado na região Nordeste do Brasil (NEB), por sua vez, consta que sua precipitação é causada por três tipos de perturbações sinóticas: na região sul o seu principal sistema causador de chuvas são penetrações de frentes frias e/ou vestígios da mesma, e a formação das linhas de instabilidade (LI) auxiliada pelos Vórtices Ciclônicos do Atlântico Sul (VCAS) e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as contribuições dos ventos alísios de sudeste que juntos aumenta a nebulosidade e provocam chuvas de intensidade moderada a forte na região segundo Medeiros, (2014).

A bacia estudada possui pluviosidade média anual variando de 478,7 a 1.851,6 mm/ano, contrapondo-se com uma evapotranspiração potencial oscilando de 1.100,1 a 1.727,4 mm/ano (Medeiros, 2014), possuindo uma umidade relativa média anual que flutua entre 61,5 a 69,3%. A região também está passando pelo processo de “desertificação” por causa das condições climáticas da região, e também pelo modelo econômico tradicional, baseado no extrativismo de lenha, no desmatamento para plantio de grandes áreas de monoculturas e pela pecuária. Os rios em sua maioria são perenes. Portanto, a água de boa qualidade é abundante representando um patrimônio natural de grande valor para a população local e regional (PAN-BRASIL, 2004).

Realizou-se o balanço hídrico climatológico (Tabela 1 e Figura 2) para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, representado pela precipitação (P), evaporação real (EVR) e evapotranspiração potencial (ETP), a flutuação da precipitação ocorrem com maior intensidade entre os meses de dezembro a março, a evapotranspiração e a evaporação fluem com os mesmo valores entre os meses de janeiro a abril, e a evapotranspiração entre os meses de maio a novembro supera os valores evaporados. O índice de aridez, índice hídrico e o índice de umidade foram respectivamente 0,42%, -0,21% e 41,63%, o que resulta como características de clima

Megatérmico Árido, com excedente hídrico baixo. Isto indica a possibilidade de mudança da classificação atual da região de clima semiárido para árido, conforme dados do período estudado.

Tabela 1, Balanço hídrico climatológico com dados de precipitação e temperatura do período de 1960-1990, de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955), considerando capacidade de armazenamento do solo (CAD) de 100 mm.

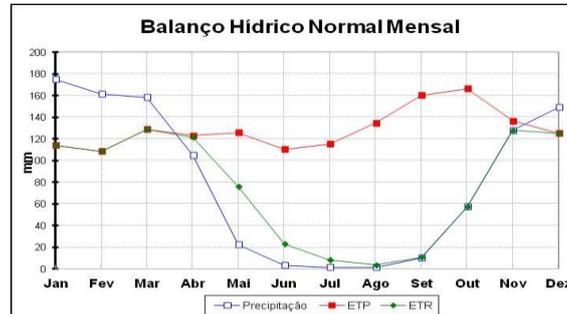


Figura 2. Balanço Hídrico da área da bacia hidrográfica do período de 1960-1990 a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955); ETP= evapotranspiração potencial, P= precipitação e EVR= evapotranspiração real. Fonte: Medeiros (2014).

A figura 3 demonstram a variabilidade do balanço hídrico climatológico para a área da Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena compreendido entre o período de 1960-1990. Destaca-se que a precipitação pluvial começa com chuva de pré-estação no mês de outubro e prolonga-se até o mês de abril, destaca-se os meses de janeiro a março com chuvoso julho, agosto e setembro como os meses seco. A evapotranspiração e a evaporação apresentam valores evaporativos iguais nos novembro a abril.

Balanço Hídrico da área da bacia hidrográfica para a Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena mis chuvoso a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955); classifica-se o clima como Semiárido com excedente hídrico pequeno ou nulo, apresentando índice de aridez de 0,33%, índice hídrico de 0,40% e índice de umidade de 33,23%.

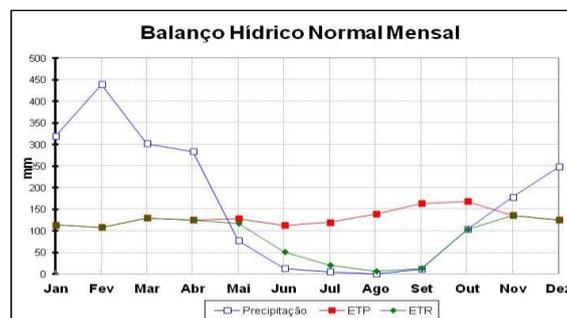


Figura 3. Balanço Hídrico da área da bacia hidrográfica para a Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955); ETP= evapotranspiração potencial, P= precipitação e ETR= evapotranspiração real. Fonte: Medeiros (2014).

Na tabela 1 destaca-se a ocorrência dos excedentes hídricos nos meses de fevereiro e março e as variabilidades das deficiências hídricas nos meses de maio a novembro, a ETR e a ETP tem-se índices evaporativos iguais entre os meses de dezembro a março e nos meses de junho a outubro a ETR é completamente diferente seu poder evaporativo.

As irregularidades dos índices pluviométricos ocorrem em todos os meses e quando comparado com a evapotranspiração e evaporação os índices pluviométricos fluem abaixo dos valores evapotranspirados.

Tabela 1. Balanço Hídrico da área da bacia hidrográfica do período de 1960-1990 a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955); ETP= evapotranspiração potencial, P= precipitação e ETR= evapotranspiração real

Meses	T (°C)	P(mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,0	175,3	113,9	113,9	0,0	0,0
Fev	25,2	161,6	108,6	108,6	0,0	38,4
Mar	25,8	158,5	128,8	128,8	0,0	29,6
Abr	25,9	104,9	123,0	121,4	1,5	0,0
Mai	25,9	22,1	125,7	75,9	49,7	0,0
Jun	25,4	3,2	110,6	22,7	87,9	0,0
Jul	25,5	1,1	115,4	8,0	107,4	0,0
Ago	26,5	1,2	134,7	3,5	131,2	0,0
Set	27,9	9,9	160,2	10,6	149,6	0,0
Out	27,8	57,4	166,3	57,5	108,8	0,0
Nov	26,4	127,9	136,5	127,9	8,6	0,0
Dez	25,4	149,1	125,2	125,2	0,0	0,0
Médias	26,1	913,9	1548,9	904,0	644,8	68,0

Fonte: Medeiros (2014).

Na tabela 2 tem-se o balanço hídrico climatológico para a área da Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena onde observava-se que os índices pluviométricos são de melhores tendências de valores mensais com exceção os meses de maio a setembro, a evapotranspiração e a evaporação diferem entre os meses de maio a outubro, ao comparar os valores evapotranspirados com os precipitados perceber-se claramente que a precipitação é mais significativa que os valores evaporativos.

Tabela 2. Balanço Hídrico da área da bacia hidrográfica para a Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena a partir do método de Thornthwaite e Mather (1955); ETP= evapotranspiração potencial, P= precipitação e ETR= evapotranspiração real

Meses	T (°C)	P(mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,0	319,0	113,6	113,6	0,0	205,4
Fev	25,2	438,6	108,0	108,0	0,0	330,6
Mar	25,9	302,3	129,8	129,8	0,0	172,5
Abr	26,0	283,5	125,0	125,0	0,0	158,4
Mai	26,1	77,1	127,9	116,9	11,0	0,0
Jun	25,5	13,1	112,9	51,1	61,8	0,0
Jul	25,7	5,1	119,6	20,2	99,4	0,0
Ago	26,7	0,8	138,8	6,1	132,7	0,0
Set	28,1	10,6	163,6	12,0	151,7	0,0
Out	27,9	103,4	167,8	103,6	64,2	0,0
Nov	26,4	178,2	135,7	135,7	0,0	0,0
Dez	25,4	248,8	124,5	124,5	0,0	67,0
Médias	26,1	1851,6	1567,1	1046,3	520,7	934,0

Fonte: Medeiros (2014).

Existindo uma tendência ao aquecimento na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto podendo agravar a sua escassez hídrica da área estudada. Observou-se que esta tendência foi influenciada pela maior frequência de anos com período chuvoso pouco expressivo.

O impacto do clima sobre os recursos hídricos é um fato de grande relevância social e ambiental, pois, em situação extrema pode comprometer a sustentabilidade da sociedade e a conservação ambiental de acordo com Tucci (2003).

## Conclusões

Diante do cenário atual das limitações dos recursos hídricos e das futuras alterações no regime climático em decorrência do aquecimento global, é importante atentar para as consequências que os nordestinos, em especial o homem do campo que poderão enfrentar condições adversas de plantio e colheita, pois, de acordo com os resultados obtidos neste estudo, para a área da bacia do rio Uruçuí Preto pode-se concluir que um aumento de temperatura do ar, e reduções nos índices pluviométricos, ocasionará um grande impacto nas reservas hídricas (corpos hídricos superficiais e no lençol freático), visto que aumentará a evaporação e evapotranspiração, provocando ressecamento nos solos e causando salinização de moderada a forte.

Recomenda-se a realização de projetos de monitoramento contínuo das mudanças climáticas e da evaporação, evapotranspiração e dos índices de chuvas na área da bacia estudada, atentando para as consequências na escassez hídrica, para o meio ambiente e sócio econômico. Recomenda-se também a instalação de mais estações climatológicas na região, para que o monitoramento seja feito de forma contínua e abrangente, e que as informações sejam disponibilizadas para população e o tomador de decisões pública e privadas.

O aumento de temperatura e a intensa radiação que ocorrer na área em estudo poderá alterar o ciclo das chuvas e, conseqüentemente, a evapotranspiração ficará mais acentuada, favorecendo a deficiência hídrica.

A atuação de fenômenos climáticos de escala global ou até mesmo em relação ao uso e ocupação da terra na área em estudo pelos processos de agricultura, pecuária, industrialização e urbanização, poderá vim a causar alterações consideravelmente às condições climáticas locais, regional e global.

No comparativo dos balanços hídricos da bacia hidrográfica com o da Fazenda Cachoeira município de Santa Filomena este último tem seu balanço mais consiso que o da bacia visto que na fazenda ainda tem área de proteção e as terras não ficam exposta diretamente ao sol além das incidências da queimadas serem pequenos o que ocorrem com a balanço hídrico da bacia que tem todos as ações descritas ao inverso da fazenda.

O balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto é favorável a várias atividades agrícolas. Além da quantidade reduzida de chuvas no período seco, as temperaturas são elevadas e a umidade relativa do ar mantém abaixo da indicação da OMM. Para as plantas, a situação se complica sobremaneira durante o período seco, pois a ETP se mantém alta e o suprimento de água depende de absorção das camadas mais profundas dos solos. Nesse caso, é bom lembrar que os solos da região não apresentam restrições, inclusive no que se refere à capacidade de água subterrânea.

Na fazenda Cachoeira município de Santa Filomena tem suas terras mais protegidas e a variabilidade da temperatura é praticamente igual ao da bacia, porem a cobertura vegetal auxilia os impactos do solo e mantém a umidade mais equilibrada.

### ANÁLISE TEMPORAL DO BALANÇO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho

#### Introdução

As discussões atuais sobre a limitação nas reservas de água doce do planeta, vinculadas a preocupações sobre uma possível escassez futura deste recurso, conduzem obrigatoriamente a uma reflexão sobre a quantidade de recursos hídricos disponíveis em bacias hidrográficas. Destacam-se ainda as questões relacionadas à qualidade das águas, comprometida em escala local, principalmente, por atividades antrópicas que gera dúvidas sobre a efetiva disponibilidade dos recursos hídricos em qualidade de acordo com Sperling (2006).

Relacionado a estas questões Tucci (2000) destaca a funcionalidade do ciclo hidrológico, que se refere a um fenômeno global de circulação da água. Este ciclo está atrelado ao intercâmbio entre as movimentações da água na superfície terrestre e da atmosfera, impulsionado basicamente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o recorte espacial mais utilizado é a bacia hidrográfica.

A dinâmica do ciclo hidrológico nas bacias pode ser mais bem entendida pelo BHS ou balanço hídrico climatológico (BHC). Segundo Vestena e Lange (2008) este resultado da quantidade de água que entra e sai de certa porção da terra (bacias hidrográficas) em um determinado intervalo de tempo. Os estudos envolvendo o balanço hídrico são empregados em inúmeras atividades, tais como na determinação dos intervalos de irrigação, na previsão da produtividade agrícola, na hora da semeadura e da colheita, na classificação climática, entre outras várias atividades, envolvendo o manejo e o planejamento dos recursos hídricos.

Thomaz e Vestena (2003) ressaltaram que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico em que a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado, considerando-se como perdas intermediárias os evaporados, transpirados, captados e infiltrados profundamente.

O balanço hídrico é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo, a partir do suprimento de água, via precipitação, da demanda atmosférica e da capacidade de água disponível. Dessa maneira, o método do balanço hídrico simplificado permite a quantificação da evapotranspiração real, da deficiência ou excedente hídrico e do débito fluvial.

Azevedo et al., (2005) por meio de estudo na bacia do Rio Iguaçu concluíram que a variabilidade pluvial da área está fortemente vinculada aos fenômenos El Niño (menor pluviosidade) e La Niña (maior pluviosidade). Os autores concluíram que nos anos da ocorrência de tais fenômenos as anomalias foram mais significativas, destacando-se os períodos de março, 1997 a outubro, 1998 (positiva); e janeiro a dezembro, 1985 e abril a dezembro, 1988 (negativa). Contudo, a variabilidade também ocorre em anos considerados normais, constatando que nem sempre está associada a tais fenômenos.

O recorte espacial ideal para a quantificação do balanço hídrico é a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre delimitada topograficamente. Ela apresenta canais que drenam materiais sólidos e líquidos em direção a um ponto de saída, numa determinada seção transversal do canal fluvial de acordo com Silva et al. (2003). Sua configura-

ração resulta de uma série de elementos (geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, climáticos, fauna, flora e ocupação antrópica) que se sobrepõem no espaço, constituindo uma dinâmica própria, um sistema natural.

A bacia hidrográfica também foi instituída no Brasil como unidade espacial para a gestão e planejamentos dos recursos hídricos, pela Lei Federal nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997).

A quantificação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto é de extrema importância por ser área de interesse a agricultura, fruticultura, olericultura, ovinocapricultura e aos grandes plantios de soja, milho, feijão, girassol entre outros e também por ser um dos afluentes importante do lado direito do rio Parnaíba.

Portanto o planejamento de uso e ocupação do solo é fundamental para o equilíbrio qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos na bacia em estudo. Tem-se como objetivo estimar e analisar o balanço hídrico da área da bacia do rio Uruçuí Preto, região sudoeste do Estado do Piauí, a partir da quantificação dos processos chuva-vazão, por meio do método do balanço hídrico simplificado.

## **Materiais e métodos**

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto foram utilizados dados de precipitações médias mensais adquiridas através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1990 (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) para o período de 1960 a 1990, assim como a estimativa da temperatura do ar média referente ao mesmo período correspondente à precipitação para a área de estudo (Tabela 1).

O balanço entre as entradas (inputs) e saídas (outputs) de água em uma bacia de drenagem é denominado de balanço hídrico. A bacia pode ser analisada como um sistema físico sujeito a entradas concentradas no tempo (precipitação) que são transformadas em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento e evapotranspiração).

Estas variáveis podem ser medidas com diferentes graus de precisão, sendo o balanço hídrico simplificado um método muito utilizado nas pesquisas ambientais. A equação representa o balanço hídrico simplificado.

$$P = Q + ET \pm \Delta S$$

Onde:

P é a precipitação;

Q é a vazão;

ET é a evapotranspiração; e

$\Delta S$  é a água armazenada na bacia hidrográfica.

Para Gregory e Walling (1973), Vestena (2002) e Vestena e Lange (2008), a variação do armazenamento total para longos períodos de tempos numa bacia hidrográfica é pequena podendo ser desconsiderada, pois o balanço hídrico se comporta de maneira cíclica com entradas e saídas no solo com tendência de equilíbrio. Dessa forma, quando se analisa uma longa série de dados de chuvas e descarga líquida a água armazenada no solo pode ser desprezada na equação do balanço hídrico simplificada.

Tabela 1. Temperatura média mensal e anual da área de entorno da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

ORDEM	MUNICIPIO/MESES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
1	Alvorada do Gurgueia	25,8	25,7	26,2	26,3	26,3	25,9	26,0	27,1	28,5	28,4	27,5	26,3	26,6
2	Alto Parnaíba	28,7	28,8	27,2	27,7	28,9	29,6	30,1	31,4	31,6	29,8	26,6	26,4	28,9
3	Avelino Lopes	24,4	25,0	25,6	25,6	25,6	24,9	24,8	25,9	27,5	27,6	26,4	25,3	25,7
4	Fazenda Vereda da Mata	25,1	25,3	25,9	25,9	25,9	25,4	25,4	26,5	28,0	28,0	26,9	25,8	26,2
5	Fazenda Viração	24,7	25,2	25,8	25,7	25,7	25,1	25,1	26,2	27,7	27,8	26,6	25,6	25,9
6	Barreiras do Piauí	24,0	24,7	25,5	25,6	25,6	24,9	25,0	26,0	27,4	27,2	25,5	24,7	25,5
7	Bom Jesus	25,5	25,6	26,2	26,3	26,4	26,0	26,1	27,3	28,7	28,5	27,2	26,0	26,6
8	Fazenda Conceição	24,7	25,1	25,8	25,9	26,0	25,4	25,5	26,6	28,0	27,8	26,3	25,3	26,1
9	Fazenda Barra Verde	25,1	25,3	26,0	26,1	26,2	25,7	25,8	26,9	28,3	28,1	26,8	25,6	26,3
10	Colônia do Gurgueia	26,1	25,9	26,5	26,6	26,7	26,5	26,6	27,8	29,1	28,9	27,9	26,7	27,1
11	Corrente	24,3	24,7	25,4	25,5	25,5	24,7	24,8	25,8	27,3	27,2	25,5	24,6	25,4
12	Fazenda Barras	24,9	25,2	25,9	26,0	26,1	25,5	25,6	26,7	28,1	28,0	26,5	25,5	26,2
13	Fazenda Caxingó	24,9	25,2	25,9	26,0	26,1	25,5	25,6	26,7	28,1	27,9	26,5	25,5	26,1
14	Fazenda Jenipapeiro	24,7	25,1	25,7	25,8	25,9	25,2	25,3	26,3	27,8	27,7	26,2	25,2	25,9
15	Cristalândia do Piauí	24,1	24,5	25,3	25,3	25,3	24,5	24,5	25,5	27,1	27,0	25,3	24,4	25,2
16	Cristino Castro	25,7	25,8	26,4	26,5	26,7	26,3	26,4	27,6	29,0	28,8	27,6	26,3	26,9
17	Fazenda Lagoa Grande	24,9	25,1	25,8	25,9	26,0	25,4	25,5	26,6	28,0	27,9	26,4	25,4	26,1
18	Fazenda Jappeganga	25,1	25,3	25,9	26,0	26,2	25,6	25,7	26,8	28,2	28,1	26,8	25,6	26,3
19	Fazenda Malhadinha	24,9	25,1	25,8	25,9	26,0	25,4	25,4	26,5	28,0	27,8	26,4	25,3	26,0
20	Curimatá	25,3	25,4	26,1	26,2	26,3	25,8	25,8	27,0	28,6	28,4	27,1	25,7	26,4
21	Fazenda São Francisco	25,1	25,2	26,0	26,0	26,1	25,6	25,6	26,7	28,3	28,1	26,7	25,5	26,2
22	Currais	25,2	25,3	26,0	26,0	26,1	25,6	25,7	26,8	28,2	28,0	26,8	25,7	26,3
23	Eliseu Martins	25,9	25,8	26,3	26,3	26,4	26,1	26,2	27,3	28,6	28,6	27,6	26,5	26,8
24	Fazenda Puca	25,2	25,4	26,0	26,0	26,2	25,7	25,7	26,9	28,2	28,0	26,7	25,6	26,3
25	Fazenda Chupeiro	24,8	25,0	25,7	25,7	25,7	25,1	25,2	26,2	27,6	27,5	26,1	25,3	25,8
26	Gilbués	24,0	24,3	25,1	25,1	25,0	24,2	24,3	25,1	26,5	26,5	24,8	24,3	24,9
27	Fazenda Melância	24,9	25,1	25,7	25,7	25,7	25,1	25,2	26,2	27,6	27,6	26,3	25,5	25,9
28	Fazenda Santa Maria	24,8	25,0	25,7	25,8	25,8	25,2	25,3	26,2	27,7	27,6	26,2	25,3	25,9
29	Fazenda Boqueirão dos Fe	24,7	24,9	25,7	25,7	25,7	25,1	25,3	26,3	27,7	27,5	26,0	25,1	25,8
30	Fazenda Bela Vista	24,8	25,0	25,7	25,8	25,8	25,2	25,3	26,3	27,7	27,6	26,1	25,2	25,9
31	Fazenda Galheiro	24,9	25,1	25,7	25,7	25,7	25,1	25,2	26,2	27,7	27,6	26,3	25,5	25,9
32	Júlio Borges	25,0	25,1	25,9	25,9	25,9	25,3	25,3	26,4	28,0	28,0	26,7	25,9	26,1
33	Manoel Emídio	25,7	25,7	26,1	26,2	26,2	25,8	26,0	27,0	28,3	28,3	27,3	26,3	26,6
34	Monte Alegre do Piauí	24,2	24,5	25,2	25,3	25,2	24,4	24,6	25,4	26,8	26,7	25,1	24,5	25,1
35	Fazenda Paus	24,9	25,1	25,7	25,8	25,8	25,2	25,3	26,3	27,7	27,6	26,3	25,5	25,9
36	Fazenda Vereda da Glória	24,9	25,1	25,7	25,8	25,8	25,2	25,3	26,3	27,7	27,6	26,3	25,5	25,9
37	Fazenda Regalo	24,8	25,0	25,6	25,7	25,7	25,0	25,1	26,0	27,5	27,5	26,2	25,3	25,8
38	Morro Cabeça no Tempo	24,6	24,8	25,3	25,3	25,2	24,3	24,4	25,1	26,6	26,8	25,5	24,9	25,2
39	Palmeira do Piauí	25,6	25,6	26,2	26,3	26,4	26,0	26,1	27,3	28,6	28,4	27,3	26,1	26,6
40	Parnaguá	24,5	24,8	25,5	25,5	25,5	24,8	24,8	25,8	27,4	27,4	25,9	24,9	25,6
41	Fazenda Barreiro	24,9	25,1	25,7	25,7	25,7	25,0	25,1	26,1	27,5	27,5	26,2	25,3	25,8
42	Fazenda Mocambo	24,7	24,9	25,6	25,6	25,6	24,9	25,0	25,9	27,4	27,3	26,0	25,1	25,7
43	Redenção do Gurgueia	25,3	25,5	26,1	26,3	26,4	26,0	26,0	27,2	28,6	28,4	27,0	25,8	26,5
44	Riacho Frio	24,6	24,9	25,7	25,7	25,7	25,1	25,1	26,2	27,6	27,5	26,0	25,0	25,7
45	São Gonçalo do Gurgueia	24,2	24,6	25,3	25,4	25,3	24,6	24,7	25,6	27,0	27,0	25,3	24,5	25,3
46	Santa Filomena	24,7	25,1	25,9	26,1	26,3	25,7	26,0	27,0	28,3	27,9	26,0	25,1	26,2
47	Fazenda Cachoeira	25,0	25,2	25,9	26,0	26,1	25,5	25,7	26,7	28,1	27,9	26,4	25,4	26,1
48	Santa Luz	25,3	25,3	25,9	25,9	25,9	25,4	25,5	26,5	27,9	27,9	26,7	25,8	26,1
49	Sebastião Barros	24,1	24,5	25,3	25,2	25,2	24,3	24,3	25,3	26,9	26,9	25,3	24,5	25,1

Fonte: Medeiros (2014).

A precipitação pluvial e a descarga líquida são facilmente medidas, diferentemente da evapotranspiração real. A partir da equação anterior, e considerando que variação do armazenamento de água na bacia hidrográfica para longos períodos mantém constante, pode-se quantificar a evapotranspiração real, por meio da equação.

$$ETP = P - Q$$

Dessa maneira, utilizando-se dados monitorados de precipitação e vazão diários, o balanço hídrico mensal no rio Uruçuí Preto foi obtido.

Os dados de chuva utilizados foram o do posto pluviométrico localizada a 07°14' de latitude Sul e 44°33' de longitude Oeste, a 124 metros de altitude, identificada pelo Código SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) com o número 744006, compreendido entre o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2010, ou seja, de sete anos de dados observados sem falhas. A escolha do referido posto deu-se devido à localização do mesmo e por pertencer ao rio principal da bacia estudada.

Os dados de vazão utilizados foram da estação fluviométrica localizada na Fazenda Bandeira, no município de Uruçuí e no leito do rio Uruçuí Preto, com dados coletados pela CHESF (Companhia Hidroelétrica do Vale do São Francisco, Banco de dados de vazão e cota), compreendido entre janeiro de 2004 a dezembro de 2010. Os dados foram tabulados, comparados e analisados, por meio de gráficos e tabelas, com auxílio de planilhas eletrônicas.

## Resultados e discussão

A precipitação pluviométrica anual na bacia do rio Uruçuí Preto entre o período de anos de 2004 e 2010 teve uma média de 1.474,0mm, durante este intervalo de tempo ocorreu um evento diários que apresentou o maior volume pluviométrico de 110 mm<sup>24h</sup><sup>-1</sup> em 06/02/2004. Nesse mês o índice pluviométrico registrado foi de 282,6 mm e o evento representou 19,16% da chuva esperado anual. A Figura 1 mostra as médias da pluviosidade anual entre 2004 e 2010, sendo que os anos de 2006 (1.785,8 mm); 2008 (1.787 mm) e 2009 (1.748 mm) foram os mais chuvosos e o de 2010 (944,8 mm) o mais seco. Cabe destacar também de modo geral um aumento nas médias anuais de pluviosidade no período, que resulta em maior disponibilidade hídrica na bacia, esta disponibilidade hídrica é causada pela variabilidade dos fenômenos de larga escala atuante na atmosfera, (El Niño e/ou La Niña).

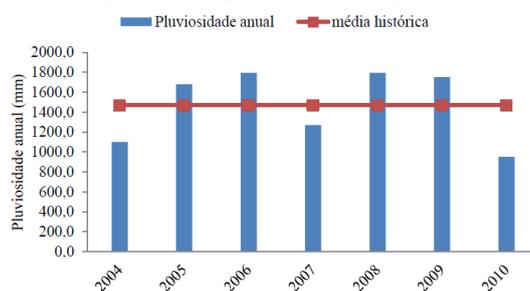


Figura 1. Pluviosidade média anual e histórica.

Fonte: Medeiros (2014).

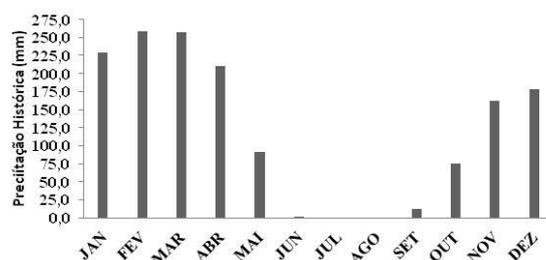


Figura 2. Pluviosidade histórica média mensal. Fonte: Medeiros (2014).

As variações médias anuais da pluviosidade no período de (2004 a 2010) são bastante irregulares no tempo e espaço apresentando anos mais e menos chuvosos. Essas condições climáticas locais estão condicionadas a circulação atmosférica que é influenciada por vários fatores. Na área do rio Uruçuí Preto cabe destacar a influência dos fenômenos climáticos El Nino e/ou La Niña que provocam modificações nos padrões climáticos (Figura 2).

A pluviosidade mensal na área do rio Uruçuí Preto para o período chuvoso entre os meses de outubro a abril representa 92,95% das chuvas esperadas anual e entre os meses de maio a setembro representa 7,04% das chuvas esperadas sendo insignificantes para o runoff e agricultura de cerqueiro, (Figura 3).

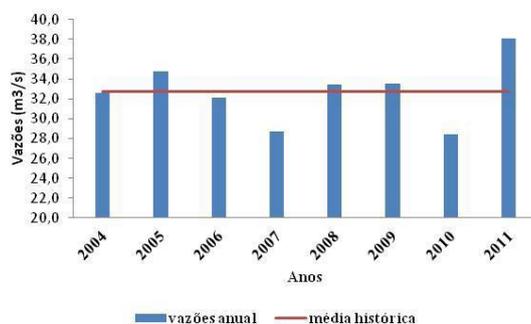


Figura 3. Vazão média anual. Fonte: Medeiros (2014).

## Deflúvio

As vazões máximas registradas nos períodos analisado foram de  $74,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no mês de janeiro de 2008, e  $83,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no mês de abril do referido ano, sendo que a pluviosidade acumulada nestes meses foram  $304$  e  $195 \text{ mm}\text{mês}^{-1}$ , favorecendo essa magnitude significativa de vazão. Com relação à vazão mínima observada, que estas foram registradas nos meses de março e abril de 2007 com  $16,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , sendo que o total acumulado de precipitação nestes meses foi de  $120$  e  $180 \text{ mm}\text{mês}^{-1}$ , respectivamente.

Os anos de 2005 ( $34,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ); 2008 ( $33,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ); 2009 ( $33,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e 2011 ( $38,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) foram os que apresentaram as maiores vazões e os anos de 2007 ( $28,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e 2010 ( $28,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) os de menores débitos fluviais, ocorridos no posto fluviométrico de Uruçuí, conforme Figura 4.

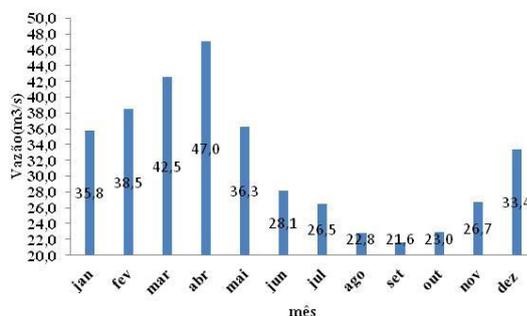


Figura 4. Vazão média mensal. Fonte: Medeiros (2014).

A vazão mensal apresentou uma média de  $32,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . À variação média das vazões oscilou entre  $21,6$  (setembro) a  $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , com destaque para a média mensal do mês de setembro que ficou bem abaixo dos demais meses (Figura 3).

Os meses com maiores médias de vazão foram março ( $42,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), e abril ( $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), sendo que, apesar das altas taxas de pluviosidade nos meses de verão, não é nesses meses que ocorrem as maiores vazões, pois grande parte dos recursos hídricos sofre “output” do sistema em decorrência dos altos índices de evapotranspiração nesse período. Com relação aos meses

de setembro e outubro as baixas taxas de evapotranspiração e a pluviosidade acima da média favoreceram os maiores débitos mensais durante o ano (Figura 4).

Determinou-se o desvio padrão das séries dos dados pluviométricos e fluviométricos (chuva e vazão). O desvio padrão da pluviosidade apresentou os maiores índices. As chuvas são influenciadas por vários fatores climáticos que favorece variabilidades maiores aos seus índices precipitados. Entre estes fatores estão à oscilação angular do eixo da Terra ao longo do ano, os ciclos de El Niño e/ou La Niña, o comportamento das massas atmosféricas e as dinâmicas locais da bacia são alguns dos principais fatores que influenciam na disposição espaço temporais dos eventos pluviométricos na área de estudo.

Os meses com os maiores desvios ocorreram entre outubro a maio com flutuação de 66,7 mm (dezembro) a 132,3 mm em março, porém, os meses de junho a setembro ocorreram os menores desvios pluviométricos com flutuação de 0,0 a 24,4 mm. (Figura 5).

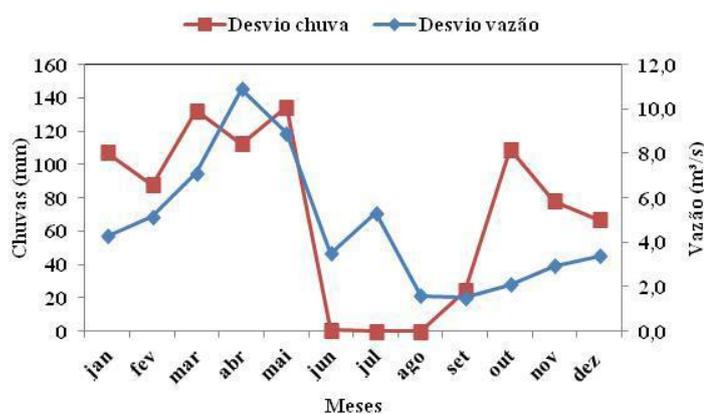


Figura 5. Desvio padrão mensal da pluviosidade e vazão. Fonte: Medeiros (2014).

Os desvios padrões da vazão mensal foram menores se comparado com a pluviosidade. Com exceção os meses de abril e julho. Esses valores demonstram que há maior equilíbrio da variação de vazão na bacia do que a pluviosidade. No período seco o desvio da vazão média apresenta uma variação oscilando entre 1,5 a 5,3  $m^3s^{-1}$ , em decorrência do constante suprimento pelas águas subterrâneas ao longo das encostas, permitindo certo equilíbrio nos débitos fluviais ao longo do tempo.

### Balanço hídrico - evapotranspiração

Por meio da contabilidade das entradas e saídas na bacia de drenagem foram definidas as taxas médias mensal/anual de evapotranspiração potencial (Figuras 6 e 7). Os dados anuais de evapotranspiração potencial e pluviosidade apresentam comportamento semelhante, contrastando com os dados de vazões. Os valores de evapotranspiração obtidos pelo balanço hídrico simplificado anual apresentam variação anual entre 472,2 mm (2010) e 1.252 mm (2006), com uma taxa média anual de 1.080,8 mm.

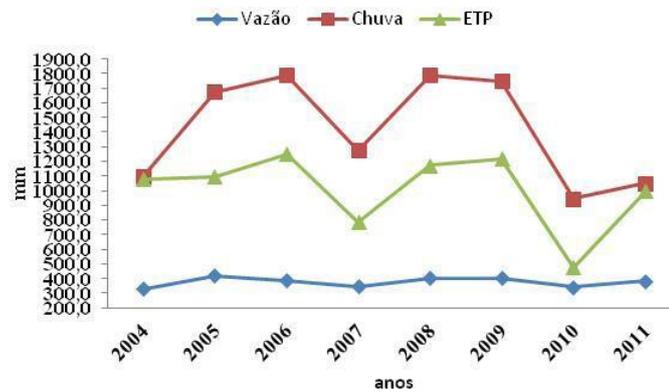


Figura 6. Balanço hídrico anual na bacia do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 7 apresenta a estimativa do balanço hídrico anual simplificado na bacia do rio Uruçuí Preto. Pelos dados é possível observar que na média dos sete anos de análise a evapotranspiração correspondeu a 62,14% das saídas, sendo ligeiramente menor que a vazão com 46%. Portanto, mais da metade dos recursos hídricos disponíveis na bacia são utilizados na transpiração (metabolismo da fauna e da vegetação) e na evaporação.

Vestena e Lange (2008) com base num banco de dados de três anos (2003 a 2006) aplicaram à mesma metodologia a bacia hidrográfica do Rio Ernesto, município de Pitanga (Paraná), localizado a 90 km da bacia hidrográfica do Rio da Pedra, determinando um percentual de 46% para a evapotranspiração e 54% a descarga fluvial.

Thomaz e Vestena (2003) considerando os dados históricos de 1985 a 2000 da Estação Agrometeorológica de Guarapuava-PR, monitorada pelo Instituto Agrônomo do Paraná, localizada a 1.020 metros de altitude determinaram uma pluviosidade média de 1.932mm, sendo um pouco acima do valor encontrado no presente trabalho, que pode ser decorrente de estar esta em maior altitude e/ou da variabilidade espacial da pluviosidade. Os autores também apontaram um escoamento fluvial anual médio de  $9,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  na bacia hidrográfica do Rio da Pedra, também um pouco acima do determinado com dados atualizados. Essas pequenas variações estão relacionadas à localização das estações, no entanto, é importante salientar que alterações no tipo de uso da terra também influem nos processos hidrológicos e que estas não foram avaliadas.

Com relação aos resultados do balanço hídrico considerando as médias mensais, o mesmo apresentou tendências de maiores taxas de evapotranspiração nos meses de novembro a março, e menores taxas nos meses de julho a setembro (Figura 7).

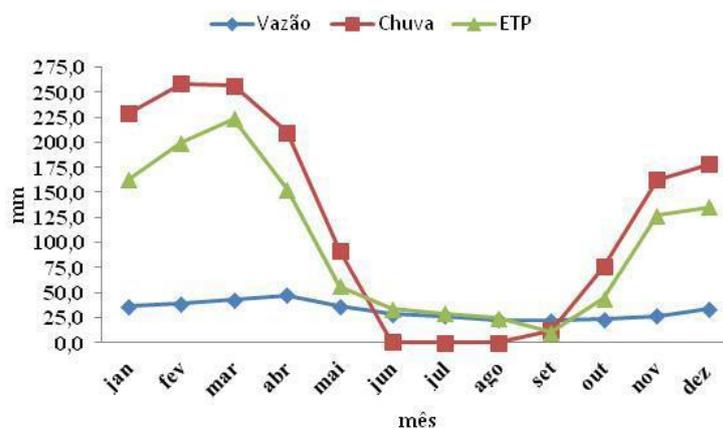


Figura 7. Balanço hídrico mensal médio da bacia do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 8 mostra a dinâmica temporal mensal do balanço hídrico, onde se destaca os meses de junho, julho e agosto com baixos índices pluviométricos e consequentemente menores disponibilidades hídricas. Esses dados mostram que nesse período a retirada da água na bacia para consumo deve ser feita de maneira planejada, a fim de evitar problemas na manutenção da flora e fauna fluvial. Por outro lado, pode-se inferir que os meses que apresentam maiores disponibilidades hídricas são os meses de outubro a março. A evapotranspiração mensal estimada pelo método do balanço hídrico, para o período variou entre 10,2 mm em setembro a 223,2 mm em março, apresentando uma média anual de 999,7 mm.

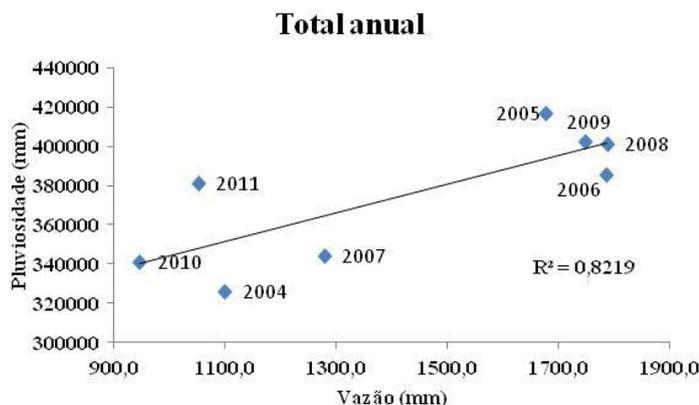


Figura 8. Relação entre pluviosidade e vazão total anual. Fonte: Medeiros (2014).

Com relação ao escoamento fluvial anual e mensal, o mesmo “responde” as entradas no sistema (chuvas) de forma diferenciada, apresentando variação na quantidade de vazão. Os dados de chuva e vazão anual apresentam uma correlação positiva com considerável ajuste, com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,8219, evidenciando uma média capacidade regularizadora da bacia, o que se explica pela presença de áreas alagadiças. Ou seja, a descarga líquida média mensal e a pluviosidade média mensal mostram índice de correlação satisfatória, com valor de  $r^2$  igual a 0,7294 (Figura 9).

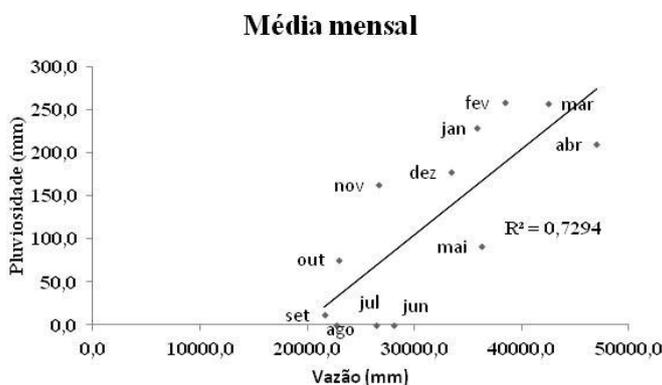


Figura 9. Relação entre pluviosidade e vazão média mensal. Fonte: Medeiros (2014).

No entanto a relação entre as médias mensais de pluviosidade e vazão apresentam uma correlação positiva moderada, com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,7294, demonstrando variabilidade na relação chuva versus vazão ao longo dos meses. Essas alternâncias têm relação com a variação da evapotranspiração ao longo do ano, que varia conforme as estações, situação essa que é equilibrada quando se analisa apenas os dados anuais da evapotranspiração.

O balanço hídrico também é influenciado pelas classes de uso da terra. Na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto o uso da terra se apresenta de forma bem diversificada tendo atividades relacionadas à pecuária, agricultura, apicultura, ovinocapicultura entre outras (Tabela 3).

Os valores de evapotranspiração na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto podem ser em parte explicados pelo tipo de uso da terra que favorece altas taxas de transpiração, uma vez que mais de 89% da área da bacia é coberta por vegetação (mata, Cerrado e Cerrado quebrado), e 0,1% por água. Sendo assim embora a bacia possua atividades relacionadas à agricultura, mineração, entre outras, a maior parte de uso da terra referem-se a classes que favorecem grandes taxas de evapotranspiração.

Tabela 3. Quantificação do uso e ocupação do solo e porcentagem de cada classe

Uso	Área (ha)	%
Mata	10.103,62	4,6
Cerrado	117.111,32	81,3
Cerrado quebrado	8.297,16	3,8
Queimada	14.194,13	6,5
Agricultura	751,76	0,3
Área antropizada	1.952,80	0,9
Água	248,88	0,1
Total	212.659,67	97,5

Fonte: CONDEPI (2002).

## Conclusões

A precipitação pluvial anual na bacia do rio Uruçuí Preto foi de 913,9 mm. Os índices de pluviosidade estão relacionados aos eventos de El Niño e La Niña.

A descarga líquida fluvial apresentaram uma média anual de  $32,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e uma mensal de  $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . As menores vazões médias mensais foram registradas em agosto ( $22,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e setembro ( $21,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e os maiores débitos em março ( $42,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e abril ( $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Os dados de chuvas e vazões apresentam desvios, no entanto, a pluviosidade apresentou maior desvio padrão em razão da variabilidade dos elementos meteorológicos que interfere nos índices pluviométricos. As vazões apresentaram valores menores de desvio padrão, pois mesmo nos períodos de veranicos há um contínuo suprimento de água do lençol subterrâneo ao longo das encostas, permitindo certo equilíbrio nos débitos fluviais ao longo do tempo.

Pelo balanço hídrico a evapotranspiração potencial média estimada anualmente foi de 1.470,7 mm, o que representa cerca de 62,14% das entradas na bacia, sendo ligeiramente maior que a vazão com 348,8 mm (28,9%). Portanto, mais de um terço dos recursos hídricos disponíveis na bacia são utilizados na transpiração, especialmente da vegetação e evaporação da água. Ao se considerar a evapotranspiração mensal, se vê claramente a relação dos períodos quentes com maiores taxas de evapotranspiração e os frios com taxas menores, permitindo inferir que o mês que apresentou maior disponibilidade hídrica foi fevereiro, e o menor junho.

Enfim, o método do balanço hídrico simplificado se mostrou válido, à medida que possibilitou a identificação dos períodos com déficits e excedentes hídricos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Os resultados e conclusões permitiram um melhor entendimento dos processos e princípios que influenciam o balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, no entanto é necessário monitoramento quantitativo e qualitativo dos processos chuva-vazão, além da formulação de novos estudos, uma vez que séries temporais mais longas possibilitam análises mais precisas da variação temporal e espacial dos processos hidrológicos.

O conhecimento prévio do balanço hídrico e dos processos hidrológicos proporcionam subsídios que fundamentam a tomada de decisões e ajudam num planejamento de manejo de uso racional dos recursos hídricos, permitindo adequar os fatores socioeconômicos aos ambientais.

# CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO E VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO BALANÇO HÍDRICO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

As condições climáticas e hidrológicas de determinada região são os principais parâmetros na estimativa das disponibilidades hídricas desse território. Estão nos estudos hidroclimatológicos as premissas básicas que nortearão o desenvolvimento dos trabalhos na definição do modelo de planejamento e gestão dos recursos hídricos a ser implementado. Desta maneira, a compatibilização entre a disponibilidade e a demanda hídrica somente poderá ser feita quando devidamente ponderados os parâmetros climáticos, especialmente precipitação, evaporação e evapotranspiração, e hidrológicos, como a movimentação e a quantificação das águas superficiais e subterrâneas no tempo e no espaço.

O clima é um conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam a atmosfera de um local e influenciam os seres que nele se encontram (Poncelet apud Pereira et al., 2001). Por isso, é considerado uma das variáveis mais importantes para o ambiente, fazendo-se necessário o estudo dos seus elementos para melhor usufruir dos seus benefícios e controlar seus efeitos.

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que apresenta maior variabilidade tanto em quantidade quanto em distribuição mensal e anual de uma região para outra (Almeida, 2001). Segundo Aragão (1975), a principal razão da existência do semiárido nordestino é a ausência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes. Trabalho de modelagem feito por Gomes Filho (1979) mostra que a topografia da região tende a intensificar os movimentos subsidentes sobre esta região, enquanto o albedo diferencial não interferiria nos resultados. Em hidrologia, as séries históricas de precipitação são informações fundamentais para o entendimento do regime hidrológico de acordo com Mello e Silva (2005).

Mesmo em abundância a distribuição espacial e temporal da água sobre a Terra é bastante irregular causando problemas de excesso em alguns lugares e escassez em outros. Conhecer o clima local é de fundamental importância para avaliar os recursos hídricos, pois vários elementos meteorológicos atuam na variação e na disponibilidade hídrica. Não se pode afirmar que um clima é úmido ou seco conhecendo-se apenas os dados pluviométricos. É necessário saber se a precipitação é maior ou menor que a água necessária para a evaporação e transpiração. Assim, precipitação e evapotranspiração são fatores climáticos importantes. Sabe-se que a precipitação e evapotranspiração ocorrem muitas vezes devido a diferentes causas meteorológicas quer em magnitude ou em distribuição temporal ao longo do ano. Em alguns lugares os meses de maiores precipitações ocorrem após o mês de maior evaporação (Thornthwaite, 1948).

A realidade hídrica associada a fatores climáticos estimulam diversos pesquisadores a realizar estudos envolvendo o balanço hídrico, pois esse se torna necessário na contabilização da quantidade de água que entra e sai do solo. O balanço hídrico tradicional de Thornthwaite e Mather (1948; 1955) é um instrumento agrometeorológico utilizado para caracterizar o fator umidade que inclui a evapotranspiração potencial e a precipitação mensal de tal forma a não sobrar nem faltar água no solo para o uso das plantas. Guntner et al. (2004) aplicaram um modelo simples e determinista de balanço hídrico para vários reservatórios no Estado do Ceará. Galvêncio et al. (2006) utilizaram o balanço hídrico para analisar o impacto das ações antropogênicas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, na Paraíba. Ufoegbune et al. (2011) apresentaram estimativas do balanço hídrico no Lago Oyan no Noroeste da Nigéria.

A variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, o impacto produzido por essa variabilidade, mesmo dentro da normalidade pode ter representações significativas nas atividades humanas. Porém vale ressaltar que as anomalias podem desestruturar tanto o sistema ambiental, quanto o socioeconômico.

Nas últimas décadas, as alterações climáticas e suas consequências para a humanidade, tem sido uma das maiores preocupações de cientistas de todo o mundo. Principalmente no tocante aos fatores responsáveis pela variabilidade climática, que vêm se acentuando desde meados do século XX. As atividades humanas são, na visão de alguns pesquisadores, as responsáveis por parte destas mudanças. Entretanto, deve-se levar em consideração, uma possível variabilidade climática natural, uma vez que a magnitude do sinal associada a ela nos registros climáticos existentes, ainda não foi bem determinada (IPCC, 1996, 2001).

Em muitas regiões a disponibilidade de recursos hídricos é adequada, porém mal distribuída geográfica e temporalmente, os volumes de água armazenados são frequentemente sobre utilizados, quando deveriam propiciar vazões regularizadas visando o atendimento de demanda bem definidos e permitindo um equilíbrio entre a disponibilidade natural e a necessidade hídrica (Galvêncio et al., 2006). Mesmo em abundância a distribuição espacial e temporal da água sobre a Terra é bastante irregular causando problemas de excesso em alguns lugares e escassez em outros. Conhecer o clima local para avaliação dos recursos hídricos é um fator determinante para avaliação hídrica, pois vários elementos meteorológicos atuam na variação e na disponibilidade hídrica. Não se pode afirmar se um clima está úmido ou seco conhecendo apenas os dados pluviométricos. É necessário saber se a precipitação é maior ou menor que a água necessária para a evaporação e evatranspiração. Assim, precipitação e evapotranspiração são fatores climáticos importantes. Se sabe que a precipitação e evapotranspiração ocorrem muitas vezes devido a diferentes causas meteorológicas quer em quantidade ou em distribuição ao longo do ano. Em alguns lugares os meses de maiores precipitações ocorrem após o mês de maior evaporação (Thornthwaite, 1948).

A realidade hídrica associada aos fatores climáticos estimulam diversos pesquisadores a realizar estudos envolvendo o balanço hídrico, pois esse se torna necessário na contabilização da quantidade de água que entra e sai do solo. O balanço hídrico tradicional de Thornthwaite e Mather (1948, 1955) é um instrumento agrometeorológico utilizado para caracterizar o fator umidade que inclui a evapotranspiração potencial e a precipitação mensal de tal forma a não sobrar nem faltar água no solo para uso das plantas. Guntner et al. (2004) aplica um modelo simples determinista de balanço hídrico para vários reservatórios no Estado do Ceará, esses reservatórios são agrupados em classes de acordo com a capacidade de armazenamento. Galvêncio et al., (2006) utilizaram o balanço hídrico para analisar o impacto das ações antropogênicas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa situado no município de Boqueirão/PB. Ufoegbune et al. (2011) apresentaram estimativas do balanço hídrico no Lago Oyan no Noroeste da Nigéria tendo como objetivos específicos obter a média mensal de precipitação, padrões sazonais pluviométricos, estimativa da evaporação no reservatório Oyan, evapotranspiração potencial e real, avaliar a quantidade de água excedente que está

facilmente disponível para a infiltração e escoamento, além de determinar a quantidade de recarga disponíveis por área.

As variações que o tempo sofre no dia-a-dia fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas, e essas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos que estão ligados aos problemas que podem vir a afetar a qualidade do ar, a disponibilidade de água potável e qualidade e quantidade de alimentos disponíveis. Nesse sentido, pode haver um aumento da vulnerabilidade humana que são influenciadas pelas características climáticas locais, devido a esses efeitos diretos e indiretos em que estão expostos conforme Campos (2009).

A variabilidade climática de uma região exerce importante influência nas diversas atividades socioeconômicas, especialmente na produção agrícola. Sendo o clima constituído de um conjunto de elementos integrados, determinante para a vida, este adquire relevância, visto que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Dentre os elementos climáticos, a precipitação tem papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, produzindo resultados na economia em conformidade com Sleiman (2008).

As variações no regime hídrico e climático são os fatores que mais atuam na limitação da produção agrícola mundial. A frequência e a distribuição inadequada das precipitações são responsáveis por 60 a 70% da variabilidade final da produção agrícola. O conhecimento histórico das condições climáticas é importante para efetuar o planejamento dos cultivos e o manejo a ser realizado durante o ciclo da cultura, observando-se cuidadosamente a variabilidade da precipitação e a intensidade da evapotranspiração, o que pode ser evitado, ou, reduzir ao máximo, a ocorrência de déficit hídrico (Ortolani e Camargo, 1987; Marengo et al. 2004).

O balanço hídrico (BH) é utilizado para estimar parâmetros climáticos e, a partir destes, é possível identificar as condições climaticamente favoráveis para a exploração de uma determinada cultura (Reichardt e Timm, 2004). De acordo com Pereira et al. (1997) O BH fornece avaliações da evapotranspiração real (EVR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde escalas diárias até mensais.

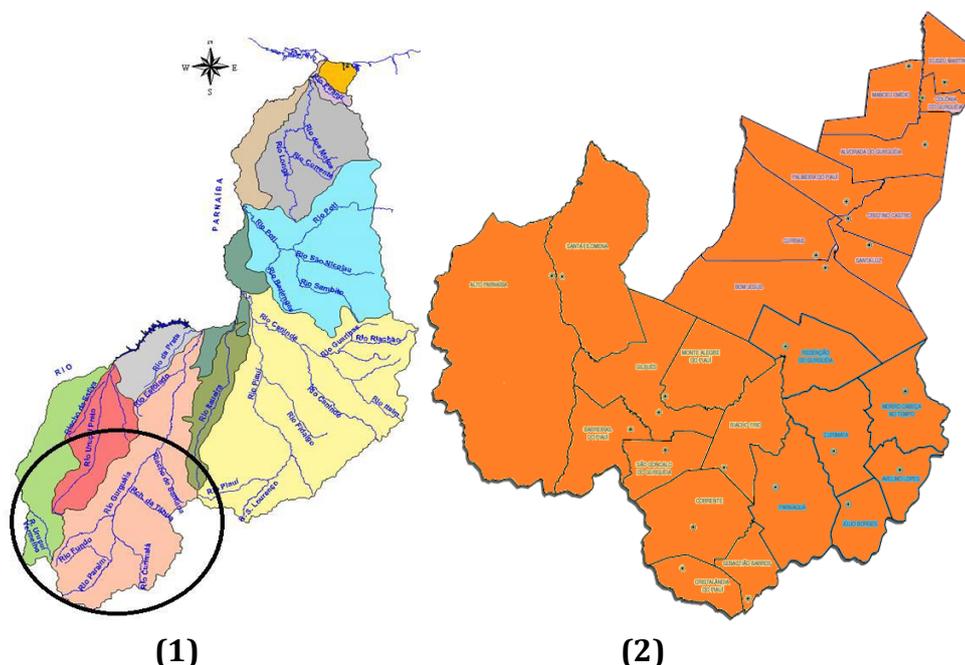
A delimitação do clima de uma região e/ou local permite não só estabelecer os indicadores do potencial do meio físico para a região de estudo, mas conjuntamente as delimitações das áreas homogêneas, que sob o ponto de vista socioeconômico contribuem para o planejamento e desenvolvimento sustentável da região. A água é um fator fundamental no desenvolvimento de uma cultura, sua falta ou excesso pode influenciar na produção agrícola de uma determinada região ou cultura. A técnica do balanço hídrico fornece o saldo de água disponível do solo para a planta, ou seja, ele contabiliza a entrada e saída de água do solo, a contabilização da precipitação perante evapotranspiração potencial, considerando um valor determinado de capacidade de armazenamento de água no solo Arraes et al. (2009).

Por ser uma bacia ainda pouco estudada e sem informações hidroclimáticas ainda não bem definidas objetivou-se em avaliar a estimativa dos balanços hídricos climatológicos e suas classificações segundo Köppen e Thornthwaite e Mather, visando gerar informações aos agricultores, latifundiários e ao setor de geração de energia para a área da BHRUP.

## **Material e métodos**

A área de interesse do estudo dispõe de uma rede de estações meteorológicas reduzida e espacialmente mal distribuída, o que dificulta uma boa caracterização das condições climáticas.

As Figuras 1 e 2 representam a localização da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto na região da Chapada das Mangabeiras, PI e os municípios que as formam.



Figuras 1 e 2. Localizações da área de estudo (1) e os municípios que a compõe (2).  
Fonte: IBGE 2006.

Sendo assim utilizou-se de dados interpolados, estimados e gerados por retas de regressões lineares múltiplas, gerando as variáveis que estão disponibilizadas através dos valores médios anuais na Tabela 1 e dos valores médios mensais Tabela 2.

Tabela 1. Valores médios anuais dos elementos meteorológicos da área da BHRUP

Ordem	Município	Tmáx	Tmín	Tméd	AT	UR	VV	EVR	ETP	INS	NEB	PREC
1	Alvorada Gurguéia	32,6	20,7	26,6	11,9	62,8	1,6	2278,5	1595,0	2742,8	4,1	625,3
2	Alto Parnaíba-MA	34,8	23,0	28,9	11,8	69,3	1,8	2179,6	1572,6	2260,4	5,3	844,4
3	Avelino Lopes	31,8	19,6	25,7	12,1	64,6	1,5	2092,5	1464,7	2744,6	5,1	710,9
4	Faz Vereda Mata	32,2	20,1	26,2	12,0	65,6	1,6	2183,5	1528,5	2582,6	4,8	754,8
5	Fazenda Viração	32,0	19,9	25,9	12,1	66,0	1,6	2140,4	1498,3	2583,5	4,9	798,6
6	Barreira do Piauí	31,6	19,4	25,5	12,3	64,4	1,6	1668,6	1168,0	2703,7	5,2	981,9
7	Bom Jesus	32,7	20,6	26,6	12,1	62,4	1,8	2467,8	1727,4	2777,2	5,2	899,6
8	Fazenda Conceição	32,2	20,0	26,1	12,2	63,4	1,7	2068,2	1447,7	2627,8	4,9	855,9
9	Faz Barra Verde	32,4	20,3	26,3	12,2	64,8	1,5	2212,5	1548,8	2625,4	5,0	809,3
10	Colônia Gurguéia	33,0	21,1	27,1	11,9	64,6	1,6	2416,5	1691,6	2662,7	4,8	478,7
11	Corrente	31,6	19,3	25,4	12,3	65,0	1,6	2008,6	1406,0	2756,6	5,1	1064,7
12	Fazenda Barra	32,2	20,1	26,2	12,2	64,8	1,7	2156,1	1509,2	2709,8	5,0	774,2
13	Fazenda Caxingó	32,2	20,1	26,1	12,1	64,0	1,6	2107,5	1475,2	2709,9	4,9	1031,6
14	Faz Jenipapeiro	32,2	19,7	25,9	12,5	63,8	1,6	2061,6	1443,1	2718,0	5,2	1044,3
15	Cristalândia Piauí	31,4	19,1	25,2	12,3	64,6	1,6	1571,6	1100,1	2751,0	5,2	985,3
16	Cristino Castro	33,0	20,9	26,9	12,1	62,3	1,7	2405,8	1684,1	2728,3	5,2	825,1
17	Faz Lagoa Grande	32,2	20,0	26,1	12,2	63,4	1,6	1988,7	1392,1	2739,7	5,0	848,4
18	Faz Japeganga	32,6	20,0	26,3	12,6	64,3	1,6	2236,1	1565,3	2732,6	4,9	797,9
19	Faz Malhadinha	32,2	19,9	26,0	12,3	63,6	1,7	2236,1	1565,3	2698,6	4,9	1087,3
20	Curimatá	32,6	20,3	26,4	12,3	64,0	1,5	2172,3	1520,6	2740,2	5,2	793,0
21	Faz. São Francisco	32,4	20,1	26,2	12,3	63,6	1,7	2164,2	1514,9	2682,0	4,9	814,7
22	Currais	32,3	20,2	26,3	12,1	63,3	2,0	2156,1	1509,3	2664,5	4,8	836,4
23	Elizeu Martins	32,7	20,8	26,8	11,9	64,0	1,6	2451,9	1716,3	2641,2	4,8	763,1
24	Fazenda Puca	32,4	20,2	26,3	12,2	63,7	1,6	2153,7	1507,6	2695,6	5,0	819,4
25	Fazenda Chupeiro	31,9	19,7	25,8	12,2	64,0	1,7	2116,4	1481,5	2710,0	5,0	974,0
26	Gilbués	31,0	18,8	24,9	12,1	63,7	1,6	1703,7	1192,6	2724,5	5,1	899,3
27	Fazenda Melancia	31,9	19,8	25,9	12,1	63,8	1,7	2113,1	1479,1	2694,0	5,0	1150,9
28	Faz. Santa Maria	32,0	19,8	25,9	12,2	63,7	1,7	2080,6	1456,4	2698,3	5,1	977,1
29	Faz. Boq Felipes	32,0	19,7	25,8	12,3	64,1	1,6	2062,1	1443,5	2707,2	5,1	1030,1
30	Fazenda Bela Vista	31,9	19,8	25,9	12,1	64,2	1,6	2020,2	1414,1	2730,4	5,2	1075,7
31	Fazenda Galheiro	31,9	19,9	25,9	12,1	65,7	1,6	2089,1	1462,4	2694,8	5,2	1129,8
32	Júlio Borges	32,2	20,0	26,1	12,2	65,8	1,6	2127,3	1489,1	2736,9	5,2	923,1
33	Manoel Emídio	32,5	20,6	26,6	11,9	65,0	1,6	2393,1	1675,2	2649,6	4,8	698,2

Tmáx - Temperatura máxima do ar, Tmín - Temperatura mínima do ar, Tméd - Temperatura média do ar, AT - Amplitude térmica, UR - Umidade relativa do ar, VV - Intensidade do vento, EVR - Evaporação, ETP - Evapotranspiração, INS - Insolação total, NEB - Nebulosidade, PREC - Precipitação. FAZ= fazenda.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Tabela 2 têm-se os demonstrativos dos valores médios mensais e anuais representativos dos elementos meteorológicos estudados dos 25 municípios e 24 fazendas que compõem a área da bacia do rio Uruçuí Preto na Chapada das Mangabeiras, PI, (Tabela 1 e 2).

Tabela 2. Valores médios mensais da área da BHRUP

PARÂMETROS/MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Temperatura máxima	29,8	29,7	31,2	31,1	31,9	32,2	32,7	34,3	35,3	34,4	32,1	30,6	32,1
Temperatura mínima	20,2	20,7	20,4	20,6	20,0	18,6	18,2	18,7	20,5	21,1	20,6	20,2	20,0
Temperatura média	25,0	25,2	25,8	25,9	25,9	25,4	25,5	26,5	27,9	27,8	26,4	25,4	26,1
Amplitude térmica	9,6	9,1	10,9	10,6	11,9	13,6	14,6	15,6	14,8	13,3	11,5	10,4	12,2
umidade relativa do ar	77,5	76,5	73,3	69,6	64,4	60,3	50,8	48,1	48,8	57,4	69,0	74,8	64,2
Insolação total	185,8	157,9	177,2	193,2	250,7	277,6	292,9	297,1	263,5	223,0	198,2	184,6	2701,8
Intensidade vento	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
Nebulosidade	0,72	0,68	0,66	0,58	0,43	0,29	0,28	0,28	0,36	0,52	0,61	0,68	0,51
Eapotranspiração	108,9	92,4	118,0	113,2	115,1	102,8	108,2	131,5	163,4	170,1	131,4	115,6	1470,7
Evaporação	155,3	131,9	168,6	161,6	163,8	146,8	154,6	187,8	233,3	243,0	187,7	165,2	2099,7
Precipitação	175,3	161,6	158,5	104,9	22,1	3,2	1,1	1,2	9,9	57,4	127,9	149,1	913,9

Fonte: Medeiros (2014).

Os dados de precipitações mensais históricos utilizados foram obtidos de uma série histórica de 30 anos (1960 a 1990), totais mensais médios e anuais pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) e a temperatura média foi estimada pelo método da regressão linear múltipla segundo Cavalcanti e Silva (1994) e Cavalcanti et al. (2006), considerando-se as médias mensais de temperatura e precipitação.

O método adotado neste estudo para obtenção do balanço hídrico climático foi o mesmo proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Esse método contabiliza a água do solo, em que a precipitação representa seu ganho e a evapotranspiração, a perda de umidade do solo a partir dos quais se podem estimar os valores correspondentes ao Excedente Hídrico (EXC), Evapotranspiração Real (ETR) e a Deficiência Hídrica (DEF) conforme a equação 1.

Elaborou-se o balanço hídrico climático com os dados de precipitação obtidos pelas normais climatológicas do período de 1960 a 1990 totalizando 30 anos de precipitações diárias e mensais observadas.

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

Onde:

ETP = Evapotranspiração Potencial (mm/mês);

Fc = Fator de correção (Tabela 1) em função da latitude e o mês do ano;  $a = 6,75 \times 10^{-7} - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 0,01791 \times I + 0,492$  (mmmês<sup>-1</sup>);

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

T = Temperatura médias mensais em °C.

A média da temperatura mensal mostrou-se máxima em setembro e mínima em janeiro. O índice de umidade é de 0,09%, o índice de aridez é de 0,42% e o índice hídrico de -0,20%; O método adotado neste trabalho para obtenção da classificação e do balanço hídrico climático foi o de Thornthwaite e Mather de 1948 onde se utilizou de quatro cenários pluviométricos: no cenário chuvoso como uma classificação subúmido seco, cenário regular e médio com uma classificação semiárida e no cenário seco com a classificação de árido. Segundo a classificação de Köppen (1928), distinguem-se dois tipos climáticos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco (Medeiros, 2013).

Tabela 1. Fator de Correção (*F<sub>c</sub>*) do método de Thornthwaite.

Fator de Correção											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1,80	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10

Fonte: UNESCO (1982).

A classificação climática foi realizada segundo o método proposto por Thornthwaite (1948, 1955) citado em Ometto (1981) utilizando os dados do balanço hídrico para a média do período estudado. Onde se utilizou de planilha eletrônica para o referido cálculo pelo modelo de Thornthwaite (1948) (Medeiros 2009), baseia-se nos resultados dos cálculos do

índice de umidade ( $I_u = 100.(EXC/ETP)$ );

índice de aridez ( $I_a = 100.DEF/ETP$ ) e

índice hídrico ( $I_h = I_u - I_a$ ).

As normais foram obtidas através do cálculo das médias e obedecem aos critérios e normas recomendadas pela Organização Meteorológica Mundial – OMM. Baseadas nas informações disponíveis são apresentadas às características dos principais parâmetros climáticos referentes à área de Estudo.

As informações meteorológicas utilizadas neste trabalho tais quais: temperaturas máxima, mínima e média do ar, amplitude térmica, umidade relativa do ar, intensidade do vento, evapotranspiração, evaporação, nebulosidade, insolação total e índices pluviométricos, foram obtidas do Estudo Agrometeorológico do Estado do Piauí, (Medeiros, 2007) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí – EMATER-PI.

A série de dados de precipitação utilizada foi coletada pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) referente ao período de 1960 a 1990, onde se realizou preenchimento de falhas para os 49 postos pluviométricos trabalhados utilizaram-se do método de preenchimento de falhas proposto por Tiessen.

Utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather (1948; 1955) para o cálculo do balanço hídrico climatológico em escala mensal para a área BHRUP, ou seja, o balanço hídrico cíclico, elaborado a partir das normais climatológicas de temperatura média e precipitação. Essa técnica é a mais utilizada para trabalhar com dados de balanço global de água do ponto de vista climatológico. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, por meio da pluviosidade (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), considerando um nível máximo possível de armazenamento (CAD). O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento efetivo de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (Camargo, 1971).

## Resultados e discussão

A área em estudo tem uma temperatura máxima anual de 32,1 °C, na área da bacia sua temperatura máxima anual é de 35,3 °C e a mínima anual de 29,7°C. Têm-se como meses mais frios os meses de dezembro a maio e suas flutuações ocorrem entre 29,7 a 31,9 °C, os meses quentes ocorrem entre junho a novembro com oscilação entre 32,2 a 35,3 °C.

A variabilidade da temperatura mínima durante os meses de setembro a maio flutua entre 20,2 a 21,1 °C, e nos meses de junho, julho e agosto a oscilação da temperatura mínima ocorrem entre 18,2 a 18,7 °C, com uma temperatura anual de 20 °C.

As temperaturas médias mensais oscilam entre 25,0 a 27,9 °C com um valor anual de 26,1 °C. A amplitude térmica nos meses de novembro a maio oscila de 9,1 a 11,9 °C e nos meses

de junho a outubro sua fluutuabilidade é de 13,3 a 15,6 °C apresenta uma média anual de 12,2 °C.

A umidade relativa do ar (UR) média anual da bacia é de 64,2%, seus valores máximos e mínimos anuais oscilam entre 48,1 a 77,5% respectivamente, o município com maior teor de umidade relativa do ar é Alto Parnaíba e o município com menor teor de umidade relativa do ar é Santa Luz.

As intensidades do vento médias mensal para a área em estudo oscilam entre 1,5 a 1,9 ms<sup>-1</sup>. A intensidade média anual é de 1,6 ms<sup>-1</sup>.

Na Tabela 2 ver-se que a evaporação flui entre 131,9 mm no mês de fevereiro a 243mm no mês de outubro, com uma taxa anual de 2.099,7 mm. Na Tabela 1, a evaporação máxima fluiu entre 159 a 287,9 mm com o máximo anual de 2.467,8mm no município de Bom Jesus, na evaporação mínima observou-se flutuações de 101,1 a 186 mm com uma taxa anual de 1.571,6 mm no município de Cristalândia do Piauí. Comparando os índices evaporados com os precipitados, nota-se que é um número significativo de água evaporado em relação aos índices precipitados.

A oscilação da evapotranspiração (ETP) de referencia média da área estudada ocorre entre 92,4 mm em fevereiro a 170,1 mm no mês de outubro, com uma taxa anual de 1.470,7mm. A ETP máxima oscila entre 111,3 a 202,8 mm com uma variabilidade anual de 1.727,4 mm no município de Bom Jesus, já a ETP mínima oscila entre 70,7 a 130,2 mm com uma variabilidade anual de 1.10,1mm no município de Cristino Castro. Comparando os índices evapotranspirados com os precipitados, nota-se que é um número significativo de água evapotranspirados em relação aos índices precipitados.

Na Tabela 2 a insolação total tem redução a partir da segunda quinzena de outubro e se prolonga até a segunda quinzena do mês de abril, época em que esta finalizando o período chuvoso. Entre maio e primeira quinzena de outubro os valores ou as incidências dos raios solares são quase que diretamente a superfície e tem-se uma elevação significativa nos seus índices. O município de Bom Jesus é o que apresenta os valores mensais e anuais de insolação total máxima já Alta Parnaíba no Estado do Maranhão é o que apresenta os menores valores mensais e anuais de insolação total.

A nebulosidade decai nos meses de junho a setembro com variações médias de 0,28 a 0,36 décimos de cobertura, enquanto que nos meses de novembro a maio, ela mantém em elevação devido às ocorrências das chuvas, esta elevação nos índices de nebulosidade se deve aos fatores provocadores da precipitação no Estado. A cobertura de nebulosidade anual para a área da bacia do rio Uruçuí preto é de 0,51 décimos. Os municípios de maiores e menores ocorrências de coberturas de nuvens são Alvorada do Gurguéia e Currais.

Para os cálculos dos índices de: umidade (IU), aridez (IA) e hídrico (IH) foram determinados através do computo do BHC da área em estudo onde se realizou a classificação climática segundo Köppen. De acordo com os sistemas de classificação de Köppen, distinguem-se dois tipos climáticos na bacia do rio Uruçuí Preto na Chapada da Mangabeira o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco (Tabela 3).

Tabela 3. Cálculo dos índices de: umidade (IU), aridez (IA) e Hídrico (IH) e a classificação climática segundo Köppen para a área da BHRUP.

Ordem	Municípios/Coordenadas/Índices	LAT	LONG	ALT	IU		IA	IH	Classificação Köppen
					M	%			
1	Alvorada do Gurguéia	08 25	43 46	281,0	50,69	0,51	-0,30	Bsh	
2	Alto Parnaíba	09 07	45 56	220,0	57,45	0,57	-0,34	AW	
3	Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0	49,65	0,50	-0,30	Bsh	
4	Fazenda Vereda da Mata	10 22	43 58	500,0	47,86	0,48	-0,29	Bsh	
5	Fazenda Viração	09 53	43 54	420,0	46,08	0,46	-0,28	Bsh	
6	Barreiras do Piauí	09 55	45 28	500,0	41,17	0,41	-0,15	AW	
7	Bom Jesus	09 04	44 21	220,0	43,92	0,44	-0,25	Bsh	
8	Fazenda Conceição	08 46	44 24	390,0	43,69	0,44	-0,26	Bsh	
9	Fazenda Barra Verde	09 18	44 31	260,0	48,75	0,49	-0,29	Bsh	

10	Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200,0	62,64	0,63*	-0,38	Bsh
11	Corrente	12 26	45 09	434,0	38,62	0,39	-0,08	AW
12	Fazenda Barras	10 03	45 04	490,0	49,95	0,50	-0,30	AW
13	Fazenda Caxingó	10 31	45 13	500,0	39,25	0,39	-0,17	AW
14	Fazenda Jenipapeiro	10 39	45 11	510,0	39,72	0,40	-0,14	AW
15	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600,0	72,00	0,72*	-0,43	AW
16	Cristino Castro	08 48	44 13	240,0	47,07	0,47	-0,27	Bsh
17	Fazenda Lagoa Grande	08 33	44 32	320,0	44,41	0,44	-0,27	Bsh
18	Fazenda Japeganga	08 44	43 56	240,0	39,85	0,40	-0,09	Bsh
19	Fazenda Malhadinha	08 26	43 42	210,0	39,85	0,40	-0,09	Bsh
20	Curimatá	10 02	44 17	350,0	45,51	0,46	-0,27	Bsh
21	Fazenda São Francisco	10 28	44 03	600,0	44,80	0,45	-0,25	Bsh
22	Currais	09 00	44 24	320,0	44,19	0,44	-0,24	Bsh
23	Eliseu Martins	08 12	43 23	210,0	52,64	0,53	-0,32	Bsh
24	Fazenda Puca	08 03	43 39	280,0	47,23	0,47	-0,28	Bsh
25	Fazenda Chupeiro	08 02	43 28	320,0	38,04	0,38	-0,19	Bsh
26	Gilbués	09 49	45 21	500,0	40,33	0,40	-0,14	AW
27	Fazenda Melancia	09 10	45 15	380,0	39,62	0,40	-0,03	AW
28	Fazenda Santa Maria	09 13	45 16	370,0	38,21	0,38	-0,18	AW
29	Fazenda Boqueirão dos Felipes	09 45	45 40	580,0	39,89	0,40	-0,10	AW
30	Fazenda Bela Vista	09 42	45 23	520,0	37,36	0,37	-0,10	AW
31	Fazenda Galheiro	10 03	45 22	630,0	37,61	0,38	-0,08	AW
32	Júlio Borges	10 19	44 14	389,0	41,39	0,41	-0,19	AW
33	Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0	52,30	0,52	-0,31	Bsh
34	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454,0	39,30	0,39	-0,15	AW
35	Fazenda Paus	09 33	44 41	280,0	35,44	0,35	0,01*	AW
36	Fazenda Vereda da Glória	09 45	44 52	290,0	39,57	0,40	-0,19	AW
37	Fazenda Regalo	09 47	45 20	520,0	42,14	0,42	-0,21	AW
38	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479,0	39,24	0,39	-0,18	Bsh
39	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0	52,17	0,52	-0,31	Bsh
40	Parnaguá	10 13	44 38	316,0	40,44	0,40	-0,18	AW
41	Fazenda Barreiro	09 59	44 37	310,0	43,97	0,44	-0,26	AW
42	Fazenda Mocambo	09 44	44,36	337,0	45,82	0,46	-0,27	AW
43	Redenção do Gurguéia	09 30	44 36	365,0	47,67	0,48	-0,28	Bsh
44	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0	41,79	0,42	-0,20	AW
45	São Gonçalo do Gurguéia	10 01	45 18	440,0	39,51	0,40	-0,17	AW
46	Santa Filomena	09 05	46 51	380,0	38,84	0,39	0,09*	AW
47	Fazenda Cachoeira	09 15	45 43	380,0	33,23	0,33	0,40*	AW
48	Santa Luz	08 55	44 03	340,0	46,78	0,47	-0,27	Bsh
49	Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0	36,97	0,37	-0,06	AW

Fonte: Medeiros (2014).

A classificação climática visa identificar em uma grande área ou região zonas com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas. Fornece indicação valiosa sobre as condições ecológicas, potencialidades agrícolas e o meio ambiente da região. As classificações climáticas de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) utilizaram uma escala de índices climáticos definidos com base no balanço hídrico climatológico (BHC) – índice hídrico, índice de aridez e índice de umidade – constituindo as duas metodologias mais clássicas de regionalização climática.

A incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares, chuvosos e médios) a estudo desta natureza é desejável, por promover um salto de qualidade à metodologia clássica, tornando-se mais ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e as expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsões climatológicas em uso no Brasil (Varejão-Silva e Barros, 2001).

É um sistema de classificação climática criada por Charles Warren Thornthwaite, no qual o fator mais importante é a evapotranspiração potencial e a sua comparação com a precipitação que é típica de uma determinada área. Com base nesses dados, são calculados vários índices. O índice de umidade (IU) é usado para classificar o clima numa escala de umidade que vai do seco (IU entre -110 e -66) ao muito úmido (com IU superior a 100). Outro dos índices de Thornthwaite, o índice de eficiência térmica, é usado para classificar os climas entre megatérnico e gelado. Ambos estes índices dividem os climas em 9 classes climáticas diferentes.

A Tabela 4 demonstra a classificação climática segundo Thornthwaite e Mather levando-se em consideração os índices de aridez, umidade e hídricos e quatro tipos climáticos predominantes para a área em estudo.

Tabela 4. Classificação climática segundo Thornthwaite e Mather levando-se em consideração os índices de aridez, umidade e hídricos e quatro tipos climáticos predominantes.

Ordem	Municípios	Cenários	Tipos climáticos predominantes			
			Seco	Regular	Chuvoso	Médio
1	Alvorada Gurguéia	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
2	Alto Parnaíba - MA	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
3	Avelino Lopes	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
4	Fazenda Vereda da Mata	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
5	Fazenda Viração	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
6	Barreira do Piauí	Classificação	Semiárido	Subúmido seco	Úmido	Subúmido seco
7	Bom Jesus	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
8	Fazenda Conceição	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
9	Fazenda Barra Verde	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
10	Colônia do Gurguéia	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
11	Corrente	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
12	Fazenda Barra	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
14	Fazenda Jenipapeiro	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
15	Cristalândia Piauí	Classificação	Semiárido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
16	Cristino Castro	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
17	Faz Lagoa Grande	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
18	Fazenda Japeganga	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
19	Fazenda Malhadinha	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
20	Curimatá	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
21	Fazenda São Francisco	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
22	Currais	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
23	Elizeu Martins	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
24	Fazenda Puca	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
25	Fazenda Chupeiro	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
26	Gilbués	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
27	Fazenda Melância	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
28	Fazenda Santa Maria	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
29	Faz Boqueirão Felipes	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
30	Fazenda Bela Vista	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
31	Fazenda Galheiro	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido
32	Júlio Borges	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
33	Manoel Emídio	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Semiárido
34	Monte Alegre do Piauí	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
35	Fazenda Paus	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
36	Fazenda Vereda da Glória	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
37	Fazenda Regalo	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
38	Morro Cabeça no Tempo	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
39	Palmeira do Piauí	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
40	Parnaíba	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
41	Fazenda Barreiro	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
42	Fazenda Mocambo	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
43	Redenção Gurguéia	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
44	Riacho Frio	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
45	São Gonçalo do Gurguéia	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco
46	Santa Filomena	Classificação	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido	Subúmido
47	Fazenda Cachoeira	Classificação	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido	Subúmido
48	Santa Luz	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido seco	Subúmido seco
49	Sebastião Barros	Classificação	Árido	Semiárido	Subúmido	Subúmido seco

Fonte: Medeiros (2014).

Verifica-se na Tabela 5 uma temperatura média anual de 26,1°C, com oscilações mensais de 25°C para a mínima ocorrida no mês de janeiro e a máxima temperatura, de 27,9°C no mês de setembro. Através dos dados de precipitação pluviométrica apurada um total médio anual de 916 mm, com variações entre os meses de julho/agosto (1,2 mm) a janeiro (175,9 mm). Os mínimos valores de precipitação ocorrem nos meses de maio a setembro com oscilação entre 1,2 a 22,4 mm, demonstrando que estes índices são insignificantes para a produção agrícola de sequeiro e com pouca contribuição para o armazenamento de água.

Tabela 5. Balanço Hídrico Climático da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	EVR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	25,0	175,9	114,0	114,0	0,0	0,0
Fev	25,2	162,2	108,7	108,7	0,0	39,2
Mar	25,8	158,8	128,9	128,9	0,0	30,0
Abr	25,9	105,2	122,9	121,5	1,5	0,0
Mai	25,9	22,4	125,6	76,3	49,3	0,0
Jun	25,4	3,2	110,5	22,8	87,7	0,0

Jul	25,5	1,2	115,3	8,1	107,2	0,0
Ago	26,5	1,2	134,6	3,6	131,1	0,0
Set	27,9	10,0	160,2	10,7	149,5	0,0
Out	27,8	57,5	166,3	57,6	108,7	0,0
Nov	26,4	128,1	136,6	128,1	8,4	0,0
Dez	25,4	149,0	125,3	125,3	0,0	0,0
Total	26,1	916,0	1548,9	905,5	643,4	69,2

Fonte: Medeiros (2014).

Na coluna de deficiência (Tabela 5) os meses de abril a novembro são os deficientes e seu pico de máximo encontra-se no mês de setembro com 149,5mm, os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro apresentam valores zero. Observa-se na Tabela 2, a Evapotranspiração Potencial (ETP) uma taxa anual de 1.548,9mm, com variações de 108,7 mm no mês de fevereiro a 166,3 mm no mês de outubro, salienta-se que ocorre um alto índice de água evapotranspirada quando comparada a precipitação climatológica registrada. Na coluna Evaporação Real (ETV) tem-se uma flutuação mínima no mês de agosto com 3,6mm e a máxima ETV ocorre no mês de março com 128,9 mm, com uma taxa anual evaporada de 905,5mm. Os excedentes (ECX) (Tabela 5) ocorrem nos meses de fevereiro e março com 39,2 e 30 mm respectivamente, sendo que as maiores deficiência ocorrem nos meses de abril a novembro com variações de 1,5 a 149,5 mm.

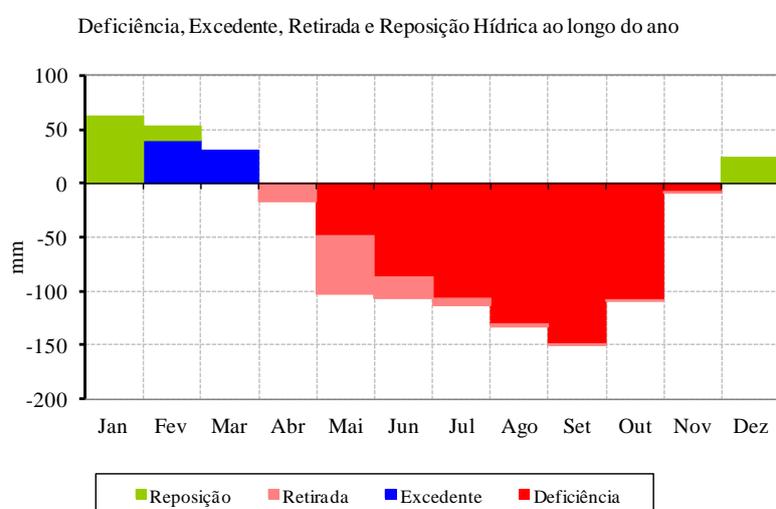


Figura 2. Gráfico do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

No gráfico do balanço hídrico (Figura 2) observa-se que nos meses de maio a novembro ocorrem as deficiências hídricas seguida das retiradas de águas. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro ocorrem reposição de água no solo, e os excedentes ocorreram nos meses fevereiro e março.

A Figura 3 exhibe o balanço hídrico regional de Thornthwaite e Mather (1955) para a área a bacia do rio Uruçuí preto na Chapada das Mangabeiras, PI. No balanço hídrico climatológico o excedente hídrico ocorre entre os meses de abril a julho, a deficiência hídrica ocorre entre os meses de dezembro e janeiro, a reposição das águas ocorrem nos meses de fevereiro e março, a retirada das águas do solo ocorrem entre os meses de agosto a janeiro.

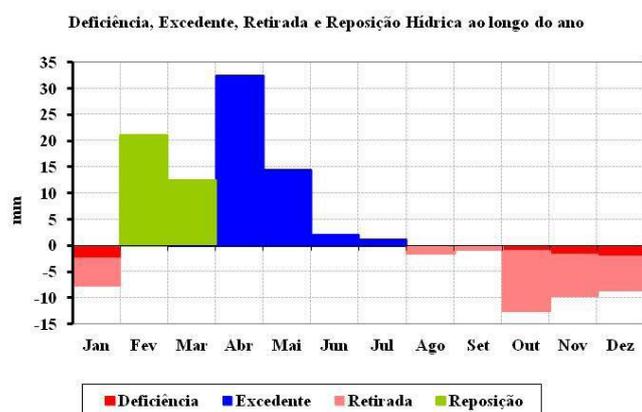


Figura 3. Balanço hídrico climatológico médio mensal para a área da bacia do rio Uruçuí preto. Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Na análise climatológica para a área BHRUP os meses de novembro a abril ocorrem os maiores índices pluviométricos, os maiores valores de evapotranspiração e evaporação ocorrem nos meses de agosto a dezembro, e os meses de menores umidades relativa do ar são agosto e setembro.

A retirada de água na área da BHRUP ocorre nos meses de agosto a janeiro, as deficiências hídricas ocorrem entre os meses de outubro a janeiro, a reposição das águas acontece nos meses de fevereiro e março e os excedentes hídricos ocorrem entre os meses de abril a julho.

As interpolações de Umidade relativa do ar para a área em estudo apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), e sobre tudo, da topografia local. Em termos médios, predominam as classes de ocorrências de 60 a 80% nos meses de novembro a maio.

Os meses de maiores insolação ocorrem entre maio a outubro com flutuações variando de 223,0 a 297,1 horas e décimos, estas insolações elevadas estão correlacionadas com a baixa cobertura de nuvens e com os fatores meteorológicos transientes da área de estudo;

O sistema de classificação climática de Köppen é eficiente somente para a macroescala e, com baixa capacidade de separação de tipos de climas levando-se em consideração a temperatura do ar, a precipitação pluvial e elementos resultantes do balanço hídrico. Consequentemente, não deve ser utilizado em estudos agroclimáticos regionais como na determinação de zonas agrometeorológicas.

O período chuvoso se concentra entre os meses de outubro a março. A maior disponibilidade hídrica verifica-se no período de fevereiro e março. A deficiência hídrica na BHRUP concentra-se no período de abril a novembro.

Evapotranspiração potencial é mínima no mês de fevereiro e máxima no mês de outubro, ao passo que a evaporação real demonstra os seus picos de mínimos e máximos nos meses de agosto e março, consecutivamente.

A média da temperatura mensal mostrou-se máxima em setembro e mínima em janeiro.

O índice de umidade é de 0,09%, o índice de aridez é de 0,42% e o índice hídrico de -0,20%.

Para obtenção da classificação e do balanço hídrico climático foi o de Thornthwaite e Mather de 1948 onde se utilizou de quatro cenários pluviométricos: no cenário chuvoso como uma classificação subúmido seco, cenário regular e médio com uma classificação semiárida e no cenário seco com a classificação de árido.

Segundo a classificação de Köppen distinguem-se dois tipos climáticos na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; Bsh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco.

# MUDANÇA E VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM DESEMPENHO AO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

O conhecimento das condições climáticas de uma determinada região é necessário para que se possa estabelecer estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, almejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e a implementação das práticas agropecuárias viáveis e seguras para os diversos biomas da região (Sousa et al., 2010).

O ciclo hidrológico é sensível às atuações tanto de origem antropogênicas como naturais e tem uma estreita relação com a cobertura vegetal da superfície terrestre. Consequentemente, variações na cobertura do solo podem acarretar modificações nas componentes desse ciclo segundo Libos et al., (2009).

As modificações dos usos da terra, que impliquem na substituição da cobertura vegetal, podem causar importantes alterações nas características hidrológicas de uma bacia hidrográfica, especialmente nas ligadas ao aumento da energia cinética da chuva (aumento do impacto da gota d'água no solo), redução da evapotranspiração, diminuição do volume de infiltração e consequente aumento do escoamento superficial de acordo com Teixeira (2009).

A contabilização da água contida no solo, e a forma de medir a quantidade de água que entra e sai deste solo é dada pelo balanço hídrico. Sendo as entradas representadas pela precipitação, irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar, e as saídas ou perdas são representadas pela evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda conforme os autores (Sentelha, apud Carvalho, 2004).

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC), desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva, e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), e com a (CAD) apropriada ao estudo, o BHC fornece estimativas da evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (Pereira et al., 1997). Em 1948, Thornthwaite desenvolveu um método simples para estimar o BHC, usando valores médios mensais da temperatura do ar e do total pluviométrico, bem como a CAD (Varejão-Silva, 2000). Posteriormente, Thornthwaite e Mather (1955) modificaram o método original de estimativa do BHC.

O BHC é uma primeira avaliação de uma região, que se determina a contabilização de água de uma determinada camada do solo onde se define os períodos secos (deficiência hídrica) e úmidos (excedente hídrico) de um determinado local (Reichardt, 1990), assim, identificando as áreas onde as culturas e a indústria pode ser explorada com maior eficácia (Barreto et al., 2009).

Oliveira et al (2014) realizaram o balanço hídrico climatológico mensal para o município de Lagoa Seca (PB), visando o planejamento hortifrutigranjeiro e mudanças climáticas para o período de 1981 a 2012, o balanço hídrico climatológico resultou em seis meses (setembro a fevereiro) de deficiência hídrica com total acumulado de 196,3 mm, ocorrendo excedente hídrico nos meses de maio a agosto, evapotranspirando 90% dos índices das chuvas ocorridos, a evaporação real anual é na ordem de 810,6 mm. Não foram verificadas tendências de mudanças climáticas sobre os índices pluviométricos e que estes índices podem ocorrer em curtos intervalos de tempo e com alta intensidade. Deve ter um bom planejamento de sustentabilidade para

o setor hortifrutigranjeiro, pois as irregularidades das chuvas são extremas e deve ter como armazenar águas deste as chuvas da pré-estação ao final do período chuvoso.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o BHC permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. O BHC como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos e também a viabilidade de implantação e monitoramento de sistemas de irrigação ou drenagem numa região. (Lima e Santos, 2009).

A precipitação é fundamental para a caracterização climática (Ferreira da Costa 1998), e o seu monitoramento tem fundamental importância para a gestão e manutenção dos recursos hídricos, pois fornece dados que contribuem nos planejamentos públicos e nos estudos que buscam o uso sustentável da água. Os dados pluviométricos, por exemplo, são essenciais para estudos como os de D'Almeida et al. (2006), Costa (2007), Sampaio et al. (2007) e Coe et al. (2009), que concluíram que o desmatamento da floresta Amazônica está influenciando diretamente no desequilíbrio do meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, onde em simulações mostraram um decréscimo significativo na evapotranspiração e na precipitação. A precipitação pluvial é um dos elementos essenciais nas atividades agrícolas, a partir do volume de chuva precipitado e da sua distribuição pode-se determinar quais os tipos de atividades agrícolas de certa localidade (Arraes et al., 2009).

A precipitação pluvial é amplamente reconhecida como a variável climatológica mais importante na região tropical, sendo essencial para o planejamento das atividades humanas e desenvolvimento local conforme os autores (Amanajás e Braga, 2012).

Os regimes pluviométricos municipais possuem uma distribuição irregular espacial e temporal, que é uma característica do Nordeste brasileiro, em função disto a sua sazonalidade de precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco meses no período chuvoso, (Silva, 2004).

Realizou-se o BHC pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), através do programa desenvolvido em planilhas eletrônicas por Medeiros (2013) e obteve-se a classificação climática decorrentes da variabilidade das classes de solos para a área da BHRUP a partir de solos com diferentes capacidades de retenção de água, com o objetivo de verificar a influência do armazenamento de água no solo no microclima da região estudada.

## **Material e métodos**

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da BHRUP, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI, 2013) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo. A BHRUP é formada por 25 municípios e 24 fazendas com dados pluviométricos em uma série de 30 anos (período de 1960-1990).

Os dados de precipitações climatológicas médias mensais e anuais foram adquiridos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI), para o período de 1960 a 1990.

Os valores mensais e anuais de temperatura do ar foram estimados pelo método das retas de regressões lineares múltiplas utilizando-se do software Estima\_T desenvolvido pelo núcleo de meteorologia aplicada da Universidade Federal de Campina Grande-PB (UFCG), que esta disponibilizada no seguinte site: [www.dca.ufcg.edu.br](http://www.dca.ufcg.edu.br). Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados em 30 anos (1960 a 1990), caracterizando um período de normal climatológica, onde, empregou-se de programa eletrônicos, obtiveram-se os valores de médias mensais e anuais de temperatura e precipitação, imprescindíveis ao cálculo do balanço hídrico.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar é uma superfície quadrática, dada por:

$$T = C_0 + C_1 \lambda + C_2 \varnothing + C_3 h + C_4 \lambda^2 + C_5 \varnothing^2 + C_6 h^2 + C_7 \lambda \varnothing + C_8 \lambda h + C_9 \varnothing h + ATSM_{ij}$$

Em que,

$C_0, C_1, \dots, C_9$  são as constantes;

$\lambda, \lambda^2, \lambda \varnothing, \lambda h$  longitude;

$\varnothing, \varnothing^2, \lambda \varnothing$  latitude;

$h, h^2, \lambda h, \varnothing h$  altura.

Os índices  $i$  e  $j$  indicam, respectivamente, o mês e o ano para os quais se está calculando a temperatura do ar ( $T_{ij}$ ). Assim, o sinal das Anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (ATSM),  $ATSM_{ij}$  assume valores positivos e negativos, de acordo com o padrão de comportamento de TSM do oceano. Cavalcanti & Silva (1994) também utilizaram uma superfície quadrática para determinar as temperaturas médias e extremas no NEB e, expressa, porém, apenas em função das coordenadas geográficas.

Pode-se, estimar a série temporal de temperatura, adicionando-lhe a anomalia de temperatura do Oceano Atlântico Tropical, Silva et al.,(2006).

$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, 12$

$j = 1960, 1961, 1962, \dots, 1990$

O Estima\_T é um software para fazer estimativas de temperaturas do ar na região NEB. A região foi dividida em três áreas: 1 - Maranhão e Piauí; 2 - Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco e 3 - Alagoas; Sergipe e Bahia. Para cada uma das regiões se determinaram os coeficientes da função quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude (Cavalcanti et al. 2006).

Após os cálculos das estimativas das temperaturas máximas, mínimas e médias entre o período de 1960 a 1990, realizou-se um corte na respectiva série e se retirou o período de 1960 a 1990 com 30 anos de estimativas para os quarenta e nove locais que compõem a bacia da área em estudo. A precisão baseada nos valores e na significância dos coeficientes de determinação, avaliados pelo teste "F" e, testados pelo teste "T" de Student, considerando um nível aceitável de até 5% de probabilidade, foi o critério adotado para aceitação do método escolhido.

Utilizou-se o método de Thornthwaite e Mather (1948; 1955), que demanda de informações de precipitação e temperatura média do ar para a realização dos cálculos do balanço hídrico, através do programa desenvolvido em planilhas eletrônicas por Medeiros (2014) para a área da BHRUP.

Nos cálculos do BHC foram utilizados os valores de CAD de 150, 125 e 100 mm para um solo com alta capacidade de armazenamento, como os solos aluvionais da área de estudo; CAD = 75 mm para solos com média e baixa capacidade de retenção de água, como solos mais arenosos. Com base no BHC utilizou-se da metodologia de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) para a classificação climática de acordo com os valores de CAD predeterminados.

Os dados climatológicos médios mensais foram agrupados em 30 anos, caracterizando um período de normal climatológica, onde, empregaram-se de programas eletrônicos, para extrair os valores das médias mensais, anuais, desvio padrão, coeficiente de variância da precipitação, máximos e mínimos valores absolutos de precipitação do período de 1960 a 1990.

A partir dos resultados do BHC para a área em estudo elaborou-se tabela contendo os valores de Evapotranspiração potencial; deficiência hídrica e excedente hídrico que permitem a melhor visualização da situação hídrica para os respectivos valores das CADs.

## Resultados e discussão

Observa-se que ocorreu excedente hídrico nas CAD's de 75, 100 e 125 mm nos meses de fevereiro e março, e na CAD de 150 mm o excedente registou-se no mês de março. Em relação à deficiência hídrica o mês de maior deficiência é setembro, e tendo como menor déficit os meses dezembro a março, restringindo em muito a exploração de culturas, notadamente as mais sensíveis ao estresse hídrico e com sistema radicular pouco profundo. Vale ressaltar que, independente da capacidade de armazenamento de água pelo solo, a descrição supracitada se repete.

No que diz respeito à classificação climática da BHRUP, na Tabela 1, observa-se os valores da evapotranspiração potencial, deficiência hídrica e excedente hídrico para as CAD de 150, 125, 100 e 75 mm. De modo que, mesmo com as consideráveis diferenças quanto à CAD, a classificação climática não sofreu qualquer interferência. Observa-se ainda que não importe o tipo de solo os valores da Evapotranspiração potencial, das deficiências hídricas e excedentes hídricos não sofreram alterações com as respectivas mudanças das CAD (Tabela 1).

Tabela 1. Evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC) para as CAD de 150 mm na área da BHRUP.

CAD 150 mm			
Meses	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	114,0	0,0	0,0
Fev	108,7	0,0	0,0
Mar	128,9	0,0	20,2
Abr	122,9	1,0	0,0
Mai	125,6	36,9	0,0
Jun	110,5	73,1	0,0
Jul	115,3	96,7	0,0
Ago	134,6	124,4	0,0
Set	160,2	146,2	0,0
Out	166,3	107,6	0,0
Nov	136,6	8,4	0,0
Dez	125,3	0,0	0,0

Fonte: Medeiros (2014).

As Figuras 1, 2, 3 e 4 são as representações gráficas do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, utilizando-se as CAD's de 150, 125, 100 e 75 mm.

Na figura 1 ocorreu excedente hídrico no mês de março com volume de 20,2 mm, a reposição das águas no solo inicia-se na segunda quinzena do mês de dezembro e prolonga-se até o mês de março. A retirada de água no solo inicia-se no mês de abril e prolonga-se até o mês de setembro.

As deficiências hídricas predominam de maio a outubro, sendo os meses de agosto a outubro os de maiores deficiências hídricas com flutuações entre 107,6 mm a 146,2 mm.

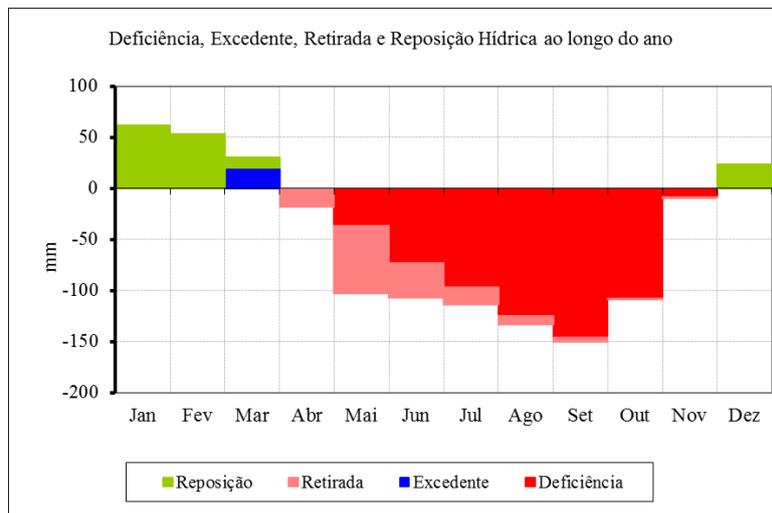


Figura 1. Gráfico do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto para a CAD de 150. Fonte: Medeiros (2014).

Tabela 1. Valores da evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC) para as CAD de 125 mm na área da BHRUP.

CAD 125 mm			
Meses	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	114,0	0,0	0,0
Fev	108,7	0,0	14,5
Mar	128,9	0,0	30,0
Abr	122,9	1,2	0,0
Mai	125,6	42,2	0,0
Jun	110,5	79,9	0,0
Jul	115,3	102,1	0,0
Ago	134,6	128,2	0,0
Set	160,2	148,2	0,0
Out	166,3	108,3	0,0
Nov	136,6	8,4	0,0
Dez	125,3	0,0	0,0

Fonte: Medeiros (2014).

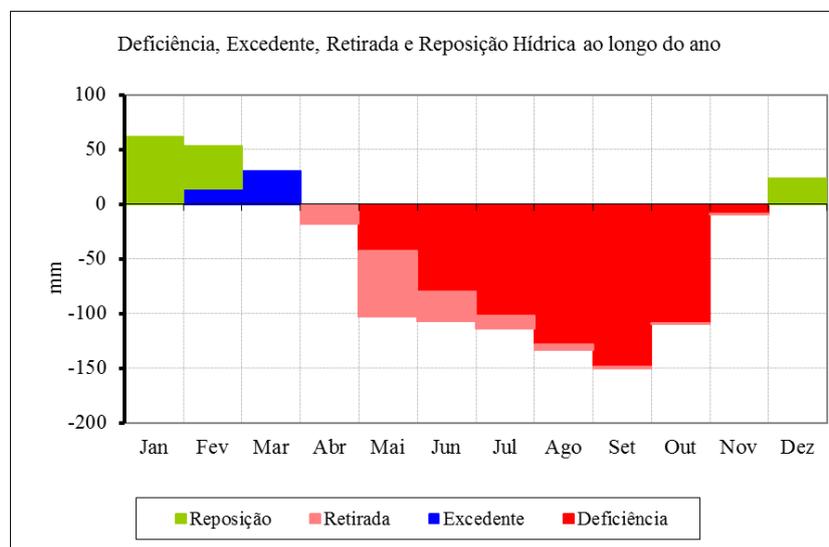


Figura 2. Gráfico do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto para a CAD de 125. Fonte: Medeiros (2014).

Tabela 1. Valores da evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC) para as CAD de 100 mm na área da BHRUP.

CAD 100 mm			
Meses	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	114,0	0,0	0,0
Fev	108,7	0,0	39,2
Mar	128,9	0,0	30,0
Abr	122,9	1,5	0,0
Mai	125,6	49,3	0,0
Jun	110,5	87,7	0,0
Jul	115,3	107,2	0,0
Ago	134,6	131,1	0,0
Set	160,2	149,5	0,0
Out	166,3	108,7	0,0
Nov	136,6	8,4	0,0
Dez	125,3	0,0	0,0

Fonte: Medeiros (2014).

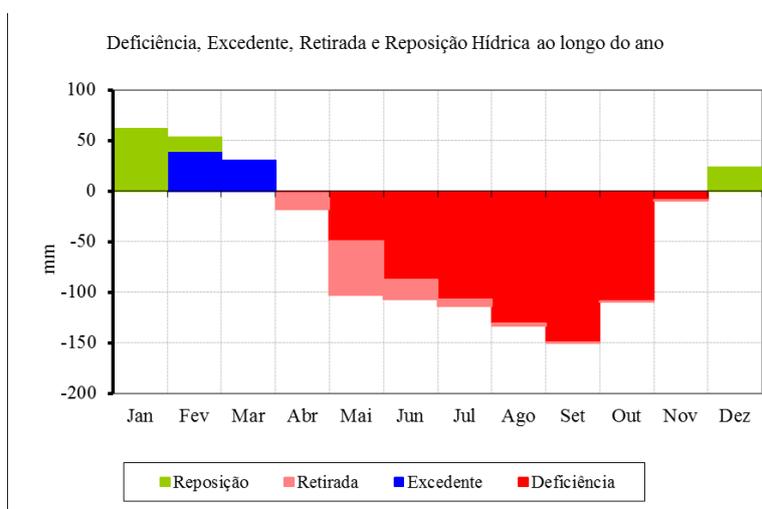


Figura 3. Gráfico do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto para a CAD de 100. Fonte: Medeiros (2014).

Tabela 1. Valores da evapotranspiração potencial (ETP), deficiência hídrica (DEF) e do excedente hídrico (EXC) para as CAD de 75 mm na área da BHRUP.

CAD 75 mm			
Meses	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	114,0	0,0	10,6
Fev	108,7	0,0	53,6
Mar	128,9	0,0	30,0
Abr	122,9	1,9	0,0
Mai	125,6	59,0	0,0
Jun	110,5	95,9	0,0
Jul	115,3	111,4	0,0
Ago	134,6	132,8	0,0
Set	160,2	150,1	0,0
Out	166,3	108,8	0,0
Nov	136,6	8,4	0,0
Dez	125,3	0,0	0,0

Fonte: Medeiros (2014).

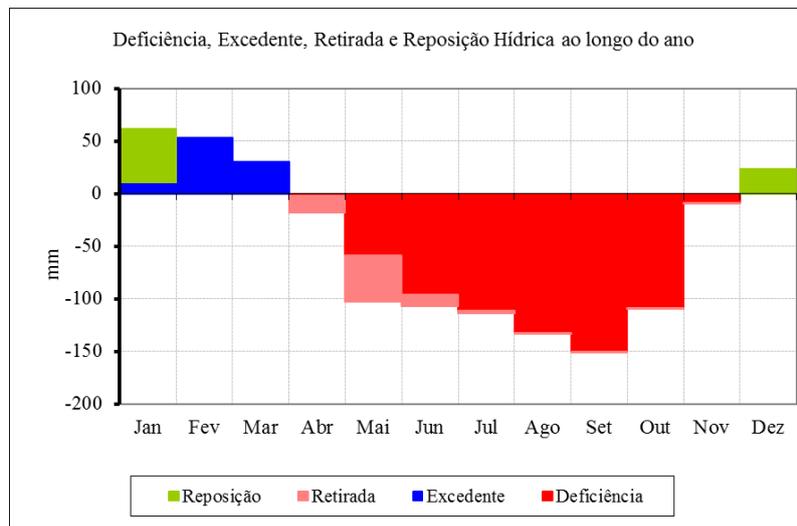


Figura 4. Gráfico do balanço hídrico para a área da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto para a CAD de 75. Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

Dois tipos climáticos conforme a classificação de Köppen ocorre na BHRUP, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; BSh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco.

A reposição de água no solo para sua máxima capacidade de armazenamento independe da CAD.

Para condições climáticas na área da BHRUP com CAD maior e menor não proporcionam perdas de água, e nem aperfeiçoa seu aproveitamento pelas culturas;

As CAD's não influenciam decisivamente nas condições hídricas ao longo do ano do município estudado.

A capacidade de armazenamento de água do solo não interfere na Classificação Climática e nas condições hídricas .

Solos com maior capacidade de armazenamento podem minimizar as condições climáticas e assegurar condições hídricas de solo um pouco mais favoráveis à exploração radicular.

As deficiências hídricas ocorrem entre os meses de abril a novembro independente da CAD utilizada ao passo que os excedentes hídricos para a CAD de 75 mm predomina em três meses (janeiro a março) e para as demais CAD so ocorre excedente no mês de março.

## VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COMO SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E AGROPECUÁRIOS

Raimundo Mainar de Medeiros  
José Ivaldo Barbosa de Brito  
Manoel Francisco Gomes Filho

### Introdução

As variações climáticas intervêm na disponibilidade e pendência hídrica, condicionando a evento de situações críticas para a sociedade e para o meio ambiente. Existe forte analogia do volume, frequência e intensidade das chuvas com a disponibilidade hídrica superficial, subterrânea e a agricultura, já que a chuva representa a fase do ciclo hidrológico, em que se recebe a água, sendo a fonte primária da maior parte da água doce terrestre. Há uma proporcionalidade quase que direta entre intensidade da chuva e infiltração de acordo com Ferreira et al. (2012). Quando as chuvas são regularmente distribuídas podem possibilitar infiltração maior, pois a velocidade de penetração no solo acompanha o índice precipitado. Chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração pode ser inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo. Por conseguinte, é importante avaliar a dispersão temporal das chuvas, que normalmente é muito elevada na região equatorial em conformidade com Ferreira et al. (2012).

O ciclo hidrológico é uma sequência fechada de fenômenos naturais que pode ser dividida em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado no âmbito da Meteorologia e o ramo terrestre, objeto da Hidrologia. A superfície limítrofe dos fenômenos pertinentes a cada um desses ramos é a interface superfície-atmosfera. Considera-se que o ramo aéreo do ciclo hidrológico se inicia quando a água é cedida à atmosfera, ou seja, evaporada, portanto, no estado de vapor, encerrando-se no momento em que é devolvida à superfície terrestre, na forma de precipitação no estado líquido ou sólido (Ferreira et al., 2012). O vapor da água que surge na interface superfície-atmosfera mistura-se ao ar por difusão turbulenta, sendo rapidamente transportado pelas correntes aéreas.

Posteriormente, encontrando condições favoráveis, volta ao estado sólido ou líquido no interior da própria atmosfera, ou em algum outro ponto da superfície, em geral, muito distante do local em que se originou. Por tudo isso, a concentração de vapor da água no ar é bastante variável, tanto no espaço como no tempo. Essa variação é, em geral, tanto maior quanto mais próxima da superfície fonte for à camada que se considere. Sob o ponto de vista puramente meteorológico, a variação da concentração de vapor da água no ar não tem implicações profundas, por influir significativamente na energética da atmosfera segundo Peixoto (1969).

O conhecimento da quantidade de vapor da água existente no ar é essencial em vários outros ramos da atividade. Sabe-se, por exemplo, que a umidade ambiente é um dos fatores que condicionam o desenvolvimento de muitos micro-organismos patógenos que atacam as plantas cultivadas e a própria transpiração vegetal está intimamente relacionada com o teor de umidade do ar adjacente (Ferreira et al., 2012). Também é conhecida a influência da umidade do ar na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos (Neto et al., 1976). Por outro lado, um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais é a umidade atmosférica reinante no local em questão. É oportuno ressaltar que a manutenção da faixa ótima de umidade do ar constitui objeto de constante controle durante a armazenagem de inúmeros produtos. Reconhece-se que este parâmetro é pouco explorado na bibliografia atual, o que demonstra a necessidade de se conhecer melhor suas variações espaciais e temporais da área estudada.

Os seres vivos que povoam o planeta vivem adaptados à energia do ambiente. Além de variação diária, a temperatura do ar varia também ao longo do ano, conforme a disposição do relevo e da latitude, que influencia na distribuição da radiação solar. A temperatura do ar tem um efeito claro no desenvolvimento dos seres vivos, uma vez que a temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois traduz os estados energéticos e dinâmicos da atmosfera e consequentemente revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos conforme Dantas et al. (2000).

Com relação às atividades agrícolas o conhecimento do comportamento das variáveis climáticas é de suma importância para um bom planejamento do setor. E a temperatura do ar destaca-se na condução de estudos concernentes à ordenação agrícola, uso do solo, zoneamento ecológico e aptidão climática, época de semeadura, estimativa do ciclo das culturas, dentre outras. (Oliveira Neto et al., 2002). Ressalta-se que até mesmo nos trópicos a temperatura do ar é uma variável meteorológica importante para no arranjo das atividades agrícolas.

Além da espacialização dos dados de temperatura, é importante caracterizar sua variação no tempo. Nos modelos matemáticos de quantificação do crescimento e de previsão da época adequada de semeadura, a temperatura média diária entra como um parâmetro importante tanto na promoção (10 a 30 °C), como na inibição do crescimento e desenvolvimento da cultura em conformidade com os autores Aspiazu (1971); Sierra e Murphy (1973).

É importante mencionar que para o setor agrícola outra variável chave é a precipitação. Neste sentido, Segundo Sampaio et al. (2007) o estudo probabilístico da distribuição pluviométrica desempenha papel relevante no planejamento racional da produção agrícola auxiliando na previsão da lâmina mínima se precipitar com certa margem de segurança e contribuindo para o melhor planejamento de irrigações suplementares, por meio do uso eficiente das águas, nas áreas cultivadas.

No presente estudo a pluviosidade, a umidade relativa do ar, as temperaturas máximas, mínimas e médias, a evaporação e evapotranspiração e o balanço hídrico foram analisados do ponto de vista de sua irregularidade espacial e temporal. Foram elaborados gráficos de comportamento anual, regimes sazonais e de isoietas médias e a do semestre mais chuvoso, umidade relativa do ar, isotermas das temperaturas máximas, mínimas e médias, e das cartas de evapotranspiração potencial, evaporação real e déficit hídrico. Os tipos climáticos da região também foram considerados devido à influência do comportamento habitual integrado da atmosfera na demanda ambiental potencial e real de água e até mesmo na demanda antrópica. Além dos fatores meteorológicos provocadores ou não de chuvas na região em estudo.

O conhecimento da estação úmida ou trimestre mais úmido é de fundamental importância para o estabelecimento da melhor época de plantio e estação de cultivo, particularmente para a prática da agricultura de sequeiro. Estudos dessa natureza têm sido desenvolvidos para o Nordeste do Brasil, com base em análise temporal da precipitação pluviométrica de acordo com Bastos e Azevedo (1986).

Utilizando 64 estações climatológicas com mais de 10 anos de observações que cobrindo toda região Nordeste do Brasil Medeiros et al. (1989) delimitaram três regimes de umidade relativa do ar no Nordeste do Brasil. Enquanto, Medeiros et al. (1992) estudaram o comportamento da umidade relativa do ar para algumas estações no Estado do Piauí e observaram o comportamento mensal da umidade relativa do ar demonstrando que na região semiáridas os valores da umidade é diferenciado das área litorânea e cerrados.

A pluviometria representa o atributo fundamental na análise dos climas tropicais, refletindo a atuação das principais correntes da circulação atmosférica. Na região sul do Estado do Piauí especificamente, as chuvas determinam o regime dos rios perenes, córregos, riachos, níveis dos lagos e lagoas, a ocupação do solo, sendo imprescindível ao planejamento de qualquer atividade o conhecimento da sua dinâmica.

Os fatores provocadores de chuva para a área estudada são as formações de linhas de instabilidade transportadas pelos ventos alísios de Sudeste/Nordeste, remanescente de frentes

frias quando das suas penetrações mais ativas, formações de aglomerados convectivos, orografia, contribuições de vórtices ciclônicos da alta troposfera e os efeitos locais, são fatores que aumentam o transporte de vapor da água e umidade e conseqüentemente a cobertura de nebulosidade e precipitação.

## Material e métodos

O estudo do comportamento temporal espacial da pluviosidade contou com dados fornecidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí - EMATER coletados em 25 postos espacialmente distribuídos na bacia do rio Uruçuí Preto e entorno. A Tabela 1 apresenta os municípios e as coordenadas geográficas dos postos pluviométricos utilizados na presente pesquisa.

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos municípios e suas respectivas coordenadas geográficas para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e entorno.

Municípios/ Coordenadas	Latitude ° ' S	Longitude ° ' O	Altitude metros
Alvorada Gurguéia	08 25	43 46	281,0
Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220,0
Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0
Barreira do Piauí	09 55	45 28	500,0
Bom Jesus	09 04	44 21	220,0
Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200,0
Corrente	12 26	45 09	434,0
Cristalândia	10 39	45 11	600,0
Cristino Castro	08 48	44 13	240,0
Curimatá	10 02	44 17	350,0
Currais	09 00	44 24	320,0
Elizeu Martins	08 12	43 23	210,0
Gilbués	09 49	45 21	500,0
Júlio Borges	10 19	44 14	389,0
Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0
Monte Alegre	09 45	45 17	454,0
Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479,0
Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0
Parnaguá	10 13	44 38	316,0
Redenção Gurguéia	09 30	44 36	365,0
Riacho Frio	10 07	44 57	400,0
São Gonçalo do Gurguéia	10 01	45 18	440,0
Santa Filomena	09 05	46 51	380,0
Santa Luz	08 55	44 03	340,0
Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0

Fonte: Medeiros (2014).

Os dados de pluviosidade, umidade relativa do ar e os de temperaturas máximas, médias e mínimas foram trabalhados em planilhas eletrônicas e analisados de forma a identificar padrões de distribuição temporal e espacial. Para a caracterização climática foi utilizada a de Thornthwaite (1948) que é baseada nos índices efetivo e umidade e aridez que são obtidos pelo balanço hídrico climático de Thornthwaite e Mather (1955), que tem como dados de entrada a precipitação e a evapotranspiração potencial, e dados de saída a evapotranspiração real, armazenamento de água no solo, o déficit de umidade na atmosfera e excedente de água no solo, São com base nas duas últimas variáveis e na evapotranspiração potencial que são calculados os índices de umidade e de eficiência térmica. O primeiro gera uma escala que vai do seco ao muito úmido. O segundo gera outra escala, do megatérmico ao gelado. Os tipos climáticos para a bacia

hidrográfica do rio Uruçuí Preto é identificado considerando apenas as variações espaciais do índice de umidade, aridez e efetivo de umidade anual. A propósito, estes índices e classificação climática baseada método de Köppen é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2, Relação dos municípios e seus respectivos índices de umidade (IU), índices de aridez (IA), índices efetivos de umidade (IM) e classificação climática segundo Köppen para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

Municípios	IU %	IA %	IM %	Köppen
Alvorada Gurguéia	0,46	48,32	-47,86	Bsh
Alto Parnaíba - MA	0,00	57,45	-57,45	AW
Avelino Lopes	0,00	47,35	-47,35	Bsh
Barreira do Piauí	14,02	40,27	-26,25	AW
Bom Jesus	3,91	43,11	-39,20	Bsh
Colônia do Gurguéia	0,11	60,62	-60,51	Bsh
Corrente	18,69	37,86	-19,17	AW
Cristalândia	15,79	38,24	-22,45	AW
Cristino Castro	3,02	46,41	-43,38	Bsh
Curimatá	1,77	43,44	-41,67	Bsh
Currais	4,44	44,47	-40,03	Bsh
Elizeu Martins	0,00	49,82	-49,82	Bsh
Gilbués	13,67	39,78	-26,12	AW
Júlio Borges	14,83	40,09	-25,26	AW
Manoel Emídio	0,00	49,37	-49,37	Bsh
Monte Alegre	11,31	38,51	-27,20	AW
Morro Cabeça no Tempo	4,15	39,39	-35,24	Bsh
Palmeira do Piauí	0,07	49,77	-49,71	Bsh
Parnaíba	10,33	39,62	-29,29	AW
Redenção Gurguéia	1,78	46,51	-44,73	Bsh
Riacho Frio	9,51	37,76	-28,25	AW
S Gonçalo do Gurguéia	12,28	40,89	-28,61	AW
Santa Filomena	39,18	38,15	1,02	AW
Santa Luz	3,65	46,18	-42,53	Bsh
Sebastião Barros	16,28	37,64	-21,37	AW

Fonte: Medeiros (2014).

## Pluviosidade

O regime de precipitação, que compreende os municípios da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, começa com as chuvas de pré-estação, iniciando-se na segunda quinzena do mês de outubro. Enquanto, que a caracterização do período chuvoso começa nos primeiros dias do mês de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e corresponde ao regime de precipitação da região sul do Estado. O total de precipitação anual dos municípios da bacia insere-se na faixa de 478,7 a 1.413,3 mm, com uma precipitação média anual em torno de 858,6 mm.

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (com duração temporal por volta de seis a nove horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade devido às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. A magnitude destes eventos é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a dezoito (18) dias consecutivos no dentro do quadrimestre mais chuvoso.

A Figura 1 (a, b, c, d, e) representam a variabilidade mensal e sazonal da precipitação pluvial (a) mínima (menor precipitação mensal entre todos os meses); (b) máxima (a maior precipitação mensal entre todos os meses); (c) precipitação total média do quadrimestre chuvoso;

(d) precipitação total média do quadrimestre seco; (e) precipitação total média anual, para a área da BHRUP e entorno.

Na Figura 1a se destaca a área sul da bacia que no centro registra as maiores intensidades das chuvas; já nos setores sudoeste e sudeste, ocorreram os menores índices pluviométricos ao passo que nas demais áreas da bacia os índices pluviométricos são insignificantes para agropecuária e para o armazenamento de água.

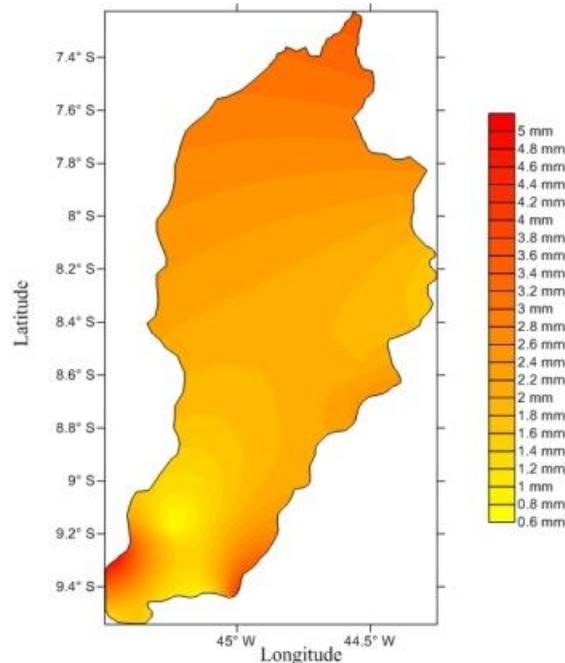


Figura 1a. Precipitação (mm) mínima, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A Figura 1b representa as chuvas máximas ocorridas no BHRUP e entorno; observa-se que as chuvas ocorrem no sentido leste – oeste e seus valores máximos no extremo sudoeste e na área costeira da bacia.

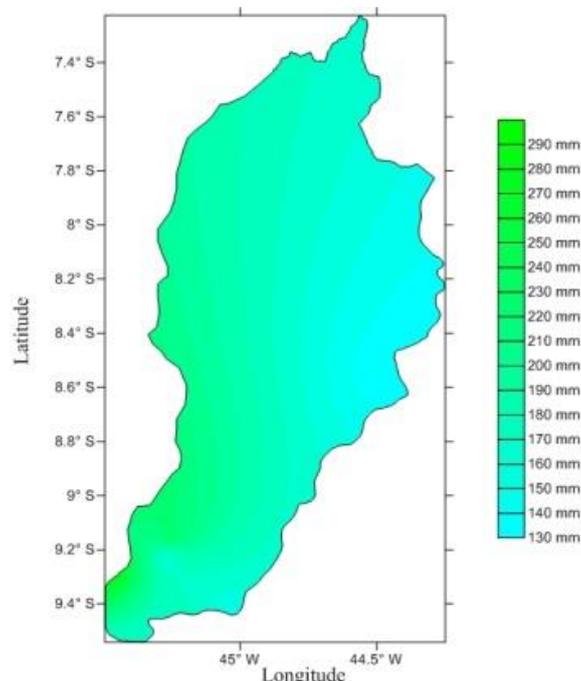


Figura 1b. Precipitação (mm) máxima, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A Figura 1c tem o comportamento do quadrimestre chuvoso, destacando-se os maiores índices pluviométricos no sudoeste e sua redução gradativa na direção nordeste, área onde se observam os menores índices pluviométricos.

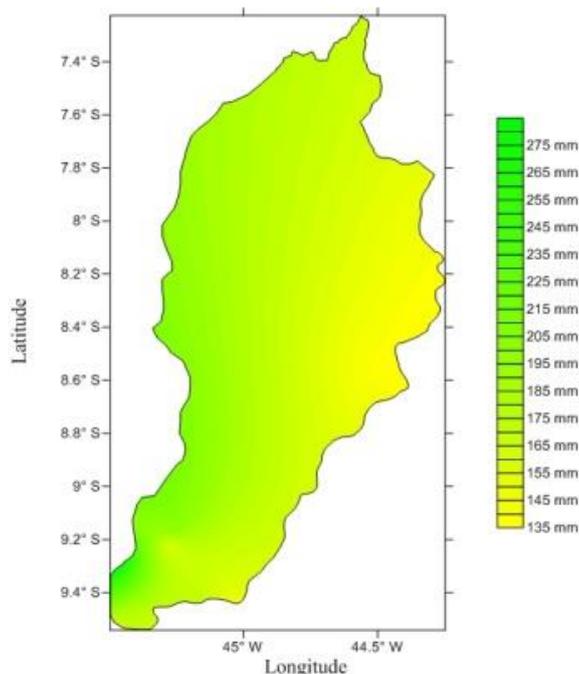


Figura 1c. Precipitação (mm) quadrimestre chuvoso, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

Na Figura 1d se destaca que as chuvas ocorreram para o quadrimestre seco, com maiores significâncias da parte central da bacia para o sentido oeste, no setor este até a metade da bacia se centram os menores índices pluviométricos; essas chuvas são de baixa magnitude e de curto intervalo de tempo.

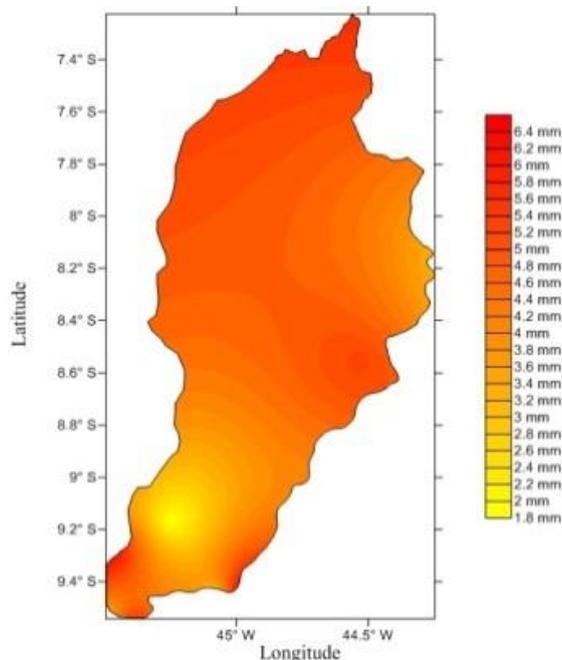


Figura 1d. Precipitação (mm) quadrimestre seco, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

Na Figura 1e apresenta a configuração total de precipitação médio anual na área da BHRUP e entorno, observa-se um acréscimo no sentido leste oeste, até mesmo na área do município de Santa Filomena, localizado no centro-oeste-sul e apresenta precipitação média anual inferior ao da sua vizinhança. No centro oeste sul destaca-se o município de Santa Filomena com a máxima pluviometria média anual; contornando a área costeira oeste da referida bacia. No leste da bacia têm-se as áreas com os menores totais médios pluviométricos anuais. Esta configuração é explicada porque a BHRUP está localizada no sul do Estado do Piauí e com maior extensão horizontal na direção sul norte, como a parte leste do Piauí está inserido no Semiárido Brasileiro e o oeste do Estado faz fronteira com o Maranhão, principalmente, na parte sul que é área limítrofe da floresta tropical chuvosa da Amazonas.

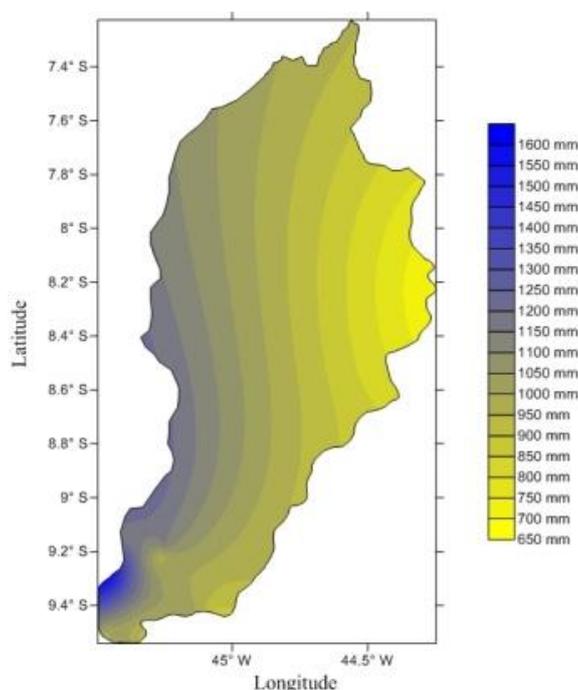


Figura 1e. Precipitação (mm) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

## Temperaturas

As Figuras 2(a, b, c) representam a configuração espacial das temperaturas médias mensais das máximas: (a) menor máxima mensal; (b) maior máxima mensal; (c) média das máximas, para a BHRUP e entorno.

Na Figura 2a observa-se, de um modo geral, um aumento gradativo no sentido sul norte, entretanto, a maior temperatura mínima das máximas ocorrem na porção sudoeste da bacia, seguido do extremo nordeste, enquanto, as menores mínimas das máximas são observadas no extremo sul. Esta configuração é decorrente da variabilidade latitudinal e da topografia da bacia.

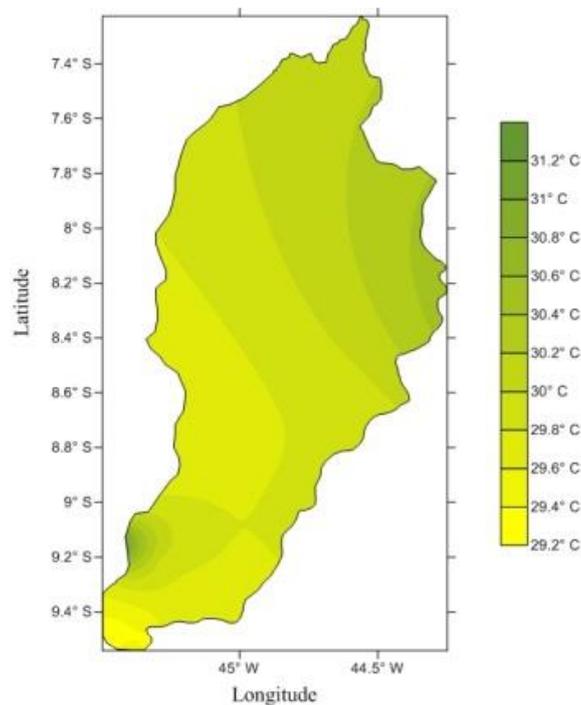


Figura 2a Temperatura máxima (°C) da mínima, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

Nota-se na Figura 2b a persistência da subida gradativa da temperatura máxima da máxima, no sentido de sul para norte, uma pequena área no setor sudoeste com máxima temperatura, observa-se, na região sul, que ocorrem reduções de temperaturas máximas da máxima e nas demais áreas predominam temperatura elevadas das máximas.

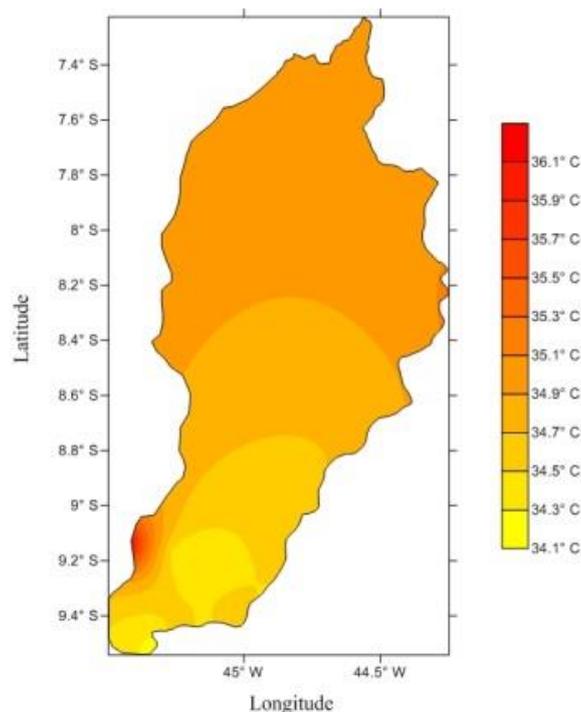


Figura 2b. Temperatura máxima (°C) da máxima, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A variabilidade anual da temperatura máxima ocorre com maiores intensidades nas áreas isoladas dos setores sudoeste e nordeste e em pequena faixa da região central de acordo

com a Figura 2c. A variabilidade anual ocorre na faixa de 31,5 a 33,3 °C em toda a bacia em estudo. As Figuras 2b e 2c apresentaram configurações espaciais semelhantes à Figura 2a, portanto, as razões físicas para as configurações são as mesmas.

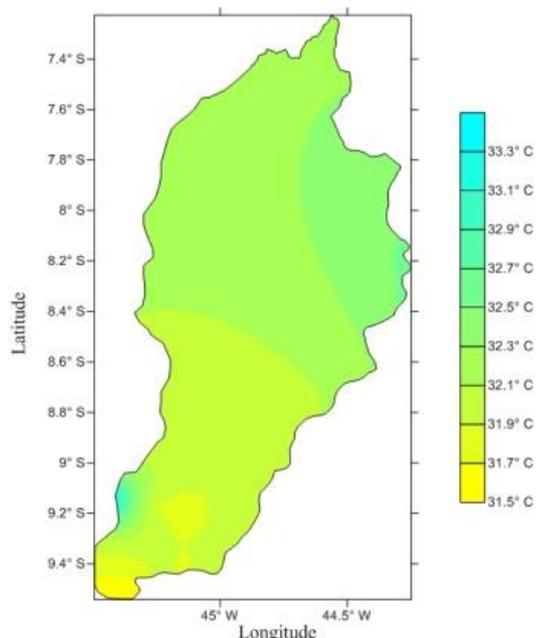


Figura 2c. Temperatura máxima (°C) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A Figura 3 (a, b, c) representa a variabilidade espacial das temperaturas médias mensais das mínimas: (a) menor temperatura mínima mensal; (b) maior temperatura mínima mensal; (c) média anual das temperaturas mínimas, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI. As configurações espaciais são análogas as da Figura 2.

Na Figura 3a tem-se a variabilidade das temperaturas mínimas, que ocorre no mês de junho e se percebe aumento gradual no sentido sul-norte; destaca-se, ainda, uma pequena área a sudoeste com 19 °C, e outra área localizada a nordeste com oscilação entre 18,6 a 20 °C.

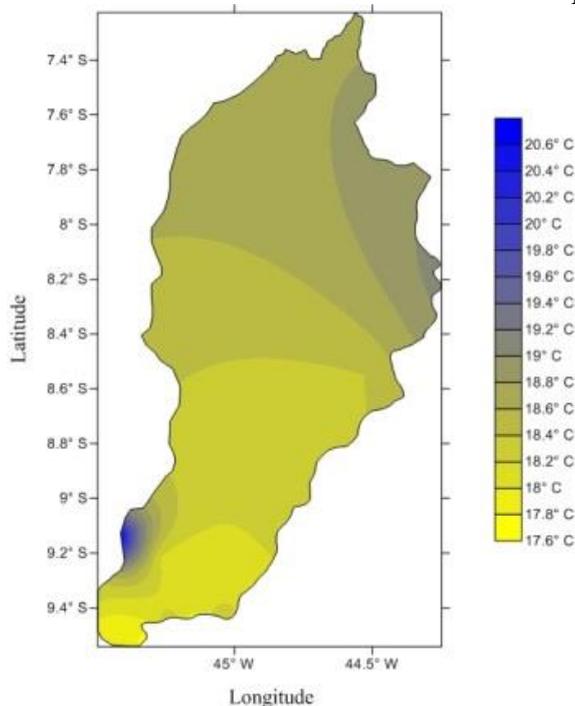


Figura 3a. Temperatura mínima (°C): (a) da mínima; (b) da máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

Na Figura 3b tem-se o comportamento da temperatura mínima da máxima para a área da BHRUP que ocorre entre os meses de agosto a setembro, percebe-se aumento gradativo no sentido sul-norte e nas variações de temperatura mínima com maiores significância nos setores sul e parte da região central, as maiores intensidade de temperatura mínima máxima ocorrem ao norte da região centra e em toda a área norte da BHRUP, se destacam pequenas áreas no setor sudoeste e este-nordeste com elevada temperatura mínima da máxima.

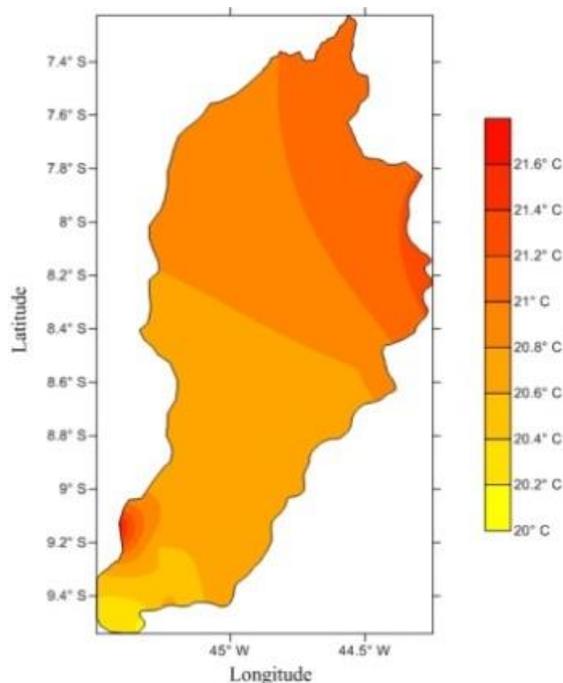


Figura 3b. Temperatura máxima (°C) da máxima, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A Figura 3c apresenta a variabilidade da temperatura mínima anual na área da BHRUP; a temperatura mínima mais elevada se encontra localizada no sudoeste; na parte da região norte e nordeste; na região ao sul têm-se duas áreas nas quais se localiza a menor variabilidade de temperatura mínima.

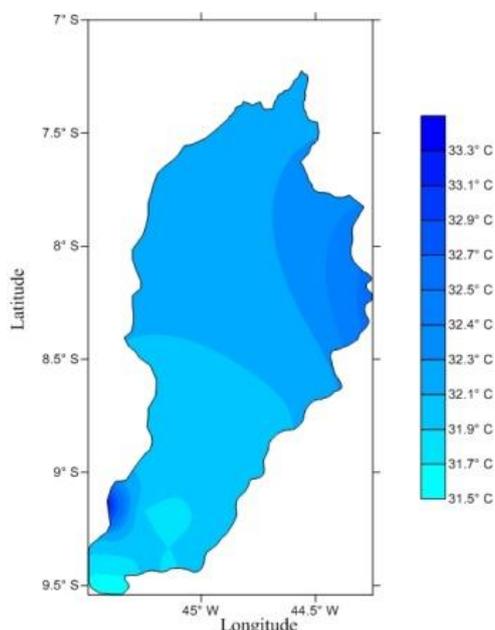


Figura 3c. Temperatura (°C) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. **Fonte: Medeiros (2014).**

A Figura 4a tem-se sua amplitude térmica do mês mais frio (janeiro) para a área da BHRUP; verifica-se que na parte oeste e no extremo sudeste, predominam a área das menores amplitudes; na faixa de amplitude média predominante ocorre, em toda a área (região norte, central e sul) com sua flutuação oscilando entre 9,58 a 9,78 °C observa-se uma pequena área de amplitude térmica superiores a 9,78 °C no setor leste da área de estudo.

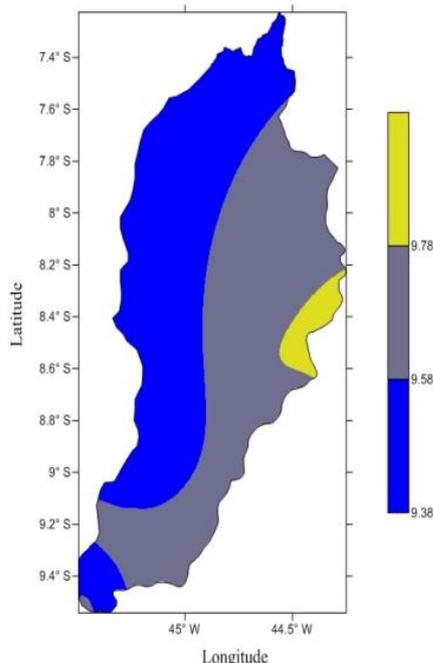


Figura 4a. Amplitude térmica (°C) mês mais frio, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 4b representa a amplitude térmica do mês mais quente (setembro) para a área da BHRUP, observando-se uma pequena faixa de amplitude térmica no extremo sul da área de estudo, superior a 15 °C; pequena área nos setores sudeste e sudoeste, como amplitude variando entre 14,7 a 15,2 °C e parte da região sul, parte da região central com amplitude térmica oscilando entre 14,5 a 15,2 °C; a amplitude térmica predomina na parte central, no norte da região central e em toda a área norte, com amplitude térmica de 15,3 °C.

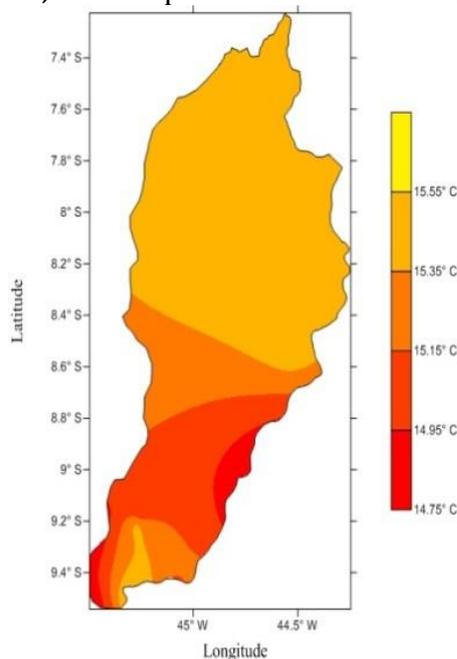


Figura 4b. Amplitude térmica (°C) mês mais quente, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4c se observa aumento no sentido norte sul; destaca-se que as áreas de menores amplitudes se localizam nas partes norte e nordeste e uma pequena faixa a sudoeste, na região central, sul e em parte do sul da região norte vê-se a variabilidade da amplitude térmica fluando entre 12 a 12,3 °C; observa, na faixa de sudeste a sudoeste, que estas caracterizadas pelas maiores amplitudes térmicas anuais.

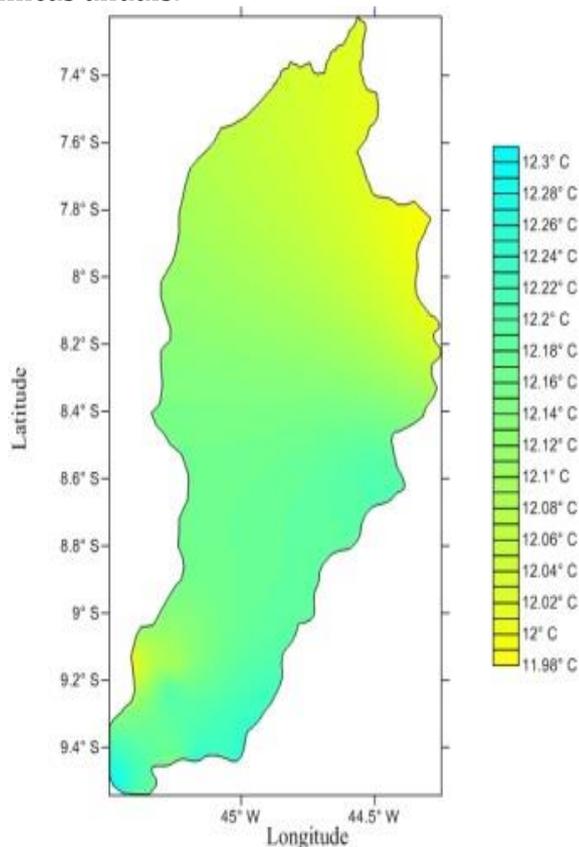


Figura 4c. Amplitude térmica (°C) anual, para a área da BHRUP e seu entorno.  
Fonte: Medeiros (2014).

Esses resultados corroboram com os encontrados por Correia et al. (2011), em um estudo sobre a avaliação do impacto da expansão agrícola na amplitude térmica diária, em ambiente semiárido. As autoras constataram que a elevação no teor de vapor da atmosfera está relacionada com o aumento na amplitude térmica diária.

A verificação da confiabilidade de métodos utilizados para estimar a temperatura do ar média, é importante, visto que valores de temperatura são frequentemente utilizados para avaliar efeitos positivos ou negativos em atividades agrícolas, como produção agropecuária, irrigação, zoneamentos agroclimáticos, estudos de mudança climática e outros casos relacionados (Jerszurki e Souza, 2010).

### Umidade relativa do ar

Segundo Baughman e Arens (1996), a umidade do ar é um parâmetro importante para saúde humana, pois valores baixos ou altos da umidade do ar podem ocasionar doenças. Por outro lado, Barbosa (2005) constatou que a vegetação presente nas áreas verdes condicionou a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos.

A Figura 5 (a, b, c) representam a variabilidade da umidade relativa do ar (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

A variabilidade da umidade relativa do ar (UR) mínima (setembro) na área da BHRUP está representada na Figura 5a que tem oscilação entre 47,2 a 52,6%; observa-se que seus menores índices se centram nas áreas sul e em parte da central, nas demais áreas se verifica aumento gradual.

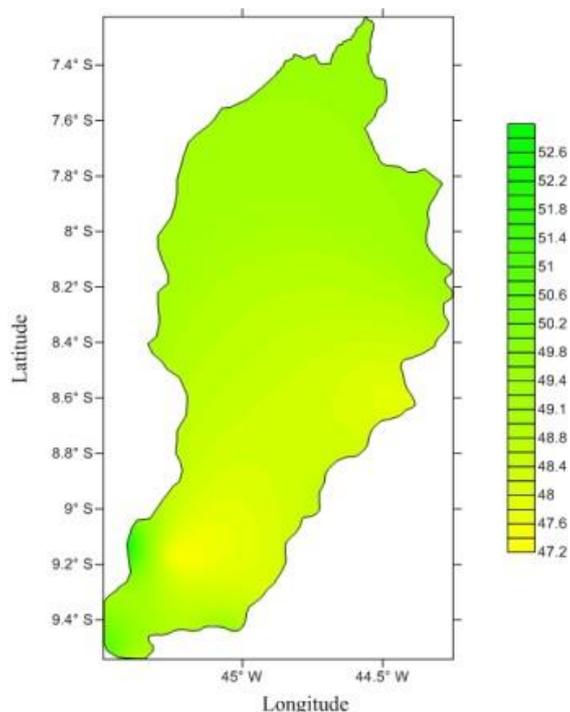


Figura 5a. Umidade relativa do ar (%) mínima, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 5b têm-se a variabilidade da UR máxima (fevereiro) e se destaca a área a este e os setores norte da região central e sul da região norte, tal como uma pequena área no setor sul com as baixas concentrações de UR.

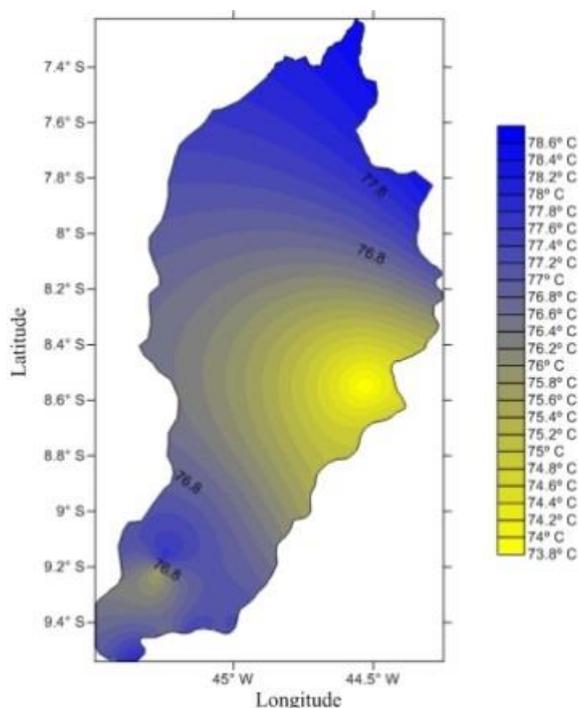


Figura 5b. Umidade relativa do ar (%) máxima, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 5c têm-se as flutuações da UR anual para a área da BHRUP; sua variabilidade flui entre 63,3 a 66,2%, observando-se que as maiores contrações da UR ocorrem nos setores sudoeste, sudeste e ao norte da região central e em toda área do setor norte; já os menores índices anuais ocorrem no setor sudeste da região central e na parte norte da região sul.

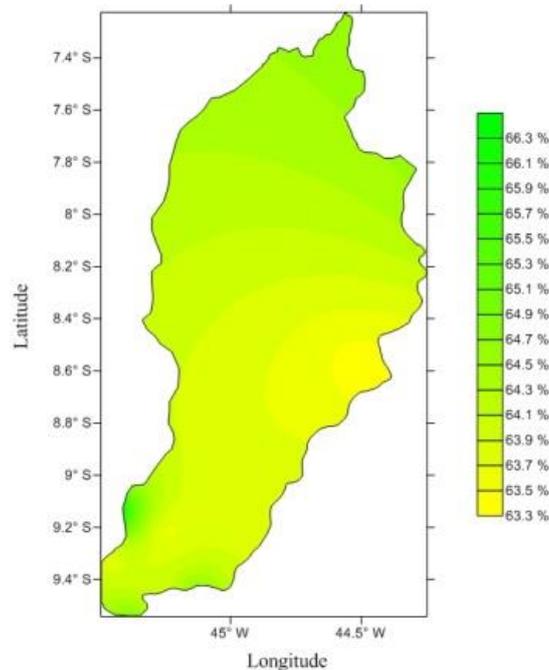


Figura 5c. Umidade relativa do ar (%) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 6 (a, b, c) representa a variabilidade da insolação total (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

A Figura 6a observa-se o comportamento da insolação total mínima (fevereiro) na BHRUP onde sua variabilidade oscila entre 155 a 178 horas, com destaque para a pequena área ao sudoeste com 157 horas de insolação total. Na insolação total máxima (setembro).

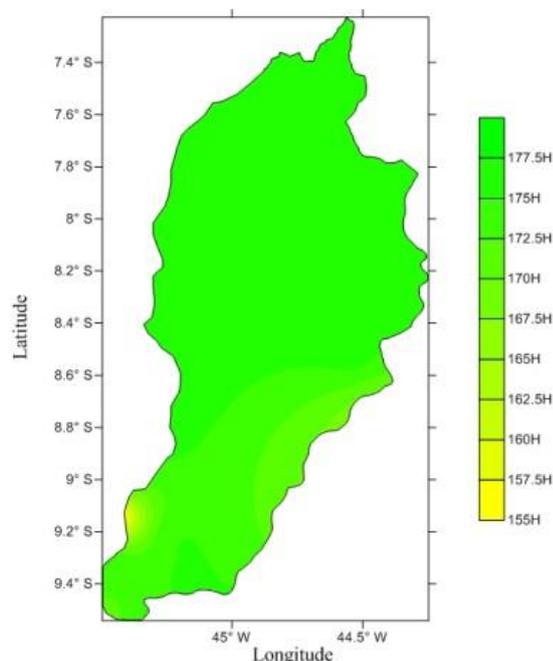


Figura 6a. Insolação total (horas) mínima, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Figura 6b observa-se áreas de máximas insolações no extremo sul e a leste da região central, faixas de insolações moderadas no sul e na região central, faixa intermediaria de insolações no setor sul e central e baixas insolações em área isolada da região sul e no norte e nordeste da região norte.

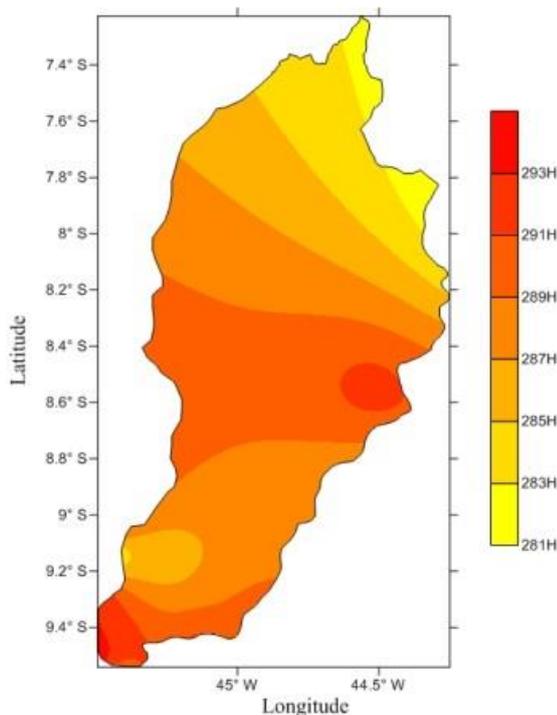


Figura 6b. Insolação total (horas) máxima,, para a área da BHRUP e seu entorno.  
Fonte: Medeiros (2014).

A variabilidade da insolação total oscila de 2520 a 2750 horas dentro da BHRUP, destaca-se uma reduzida área a sudoeste da bacia onde sua insolação é a mínima 2520 horas, conforme Figura 6c.

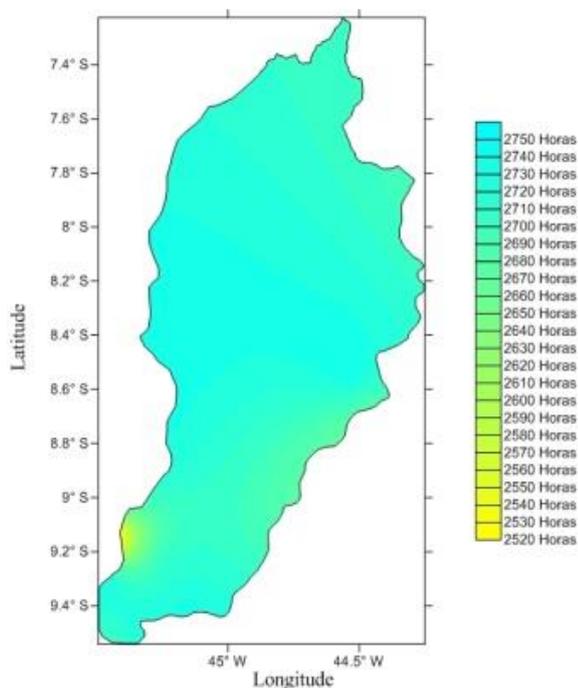


Figura 6c. Insolação total (horas) anual, para a área da BHRUP e seu entorno.  
Fonte: Medeiros (2014).

As Figuras 7 (a, b, c) representam a variabilidade da cobertura de nuvens: (a) mínima; (b) máxima; (c) e anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

A Figura 7a demonstra a variabilidade da cobertura de nuvens mínima para a BHRUP; as menores coberturas de nuvens ocorrem na área sul do setor central e área norte do setor sul e no setor este da BHRUP, no setor sul da área sul e nos setores norte da central; em quase toda a área do setor norte a fluutuabilidade da cobertura de nuvem oscila entre 2,5 a 2,9 décimos.

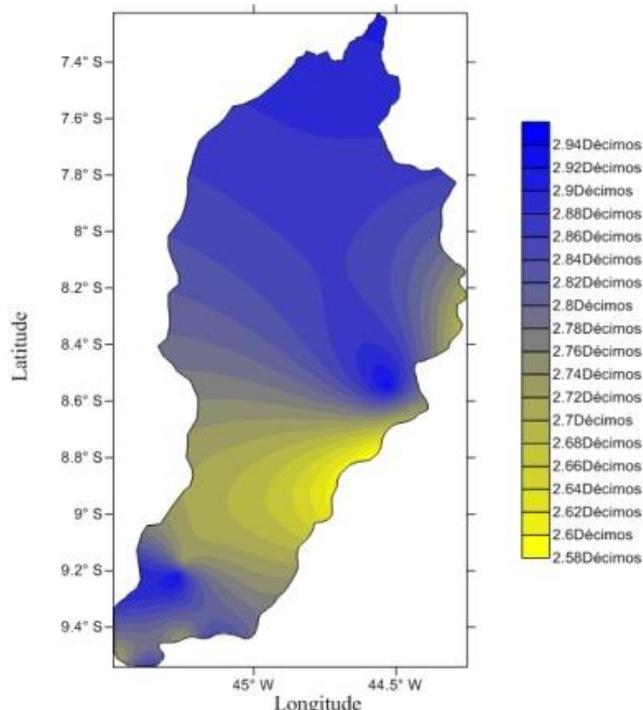


Figura 7a. Cobertura de nuvens (décimos) mínima, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 7b a variabilidade da cobertura de nuvem máxima flutua entre 6,6 a 7,1 décimos os acréscimos ocorrem no sentido este-norte-noroeste; suas menores áreas de cobertura de nuvens ocorrem na posição este e no extremo sul da BHRUP.

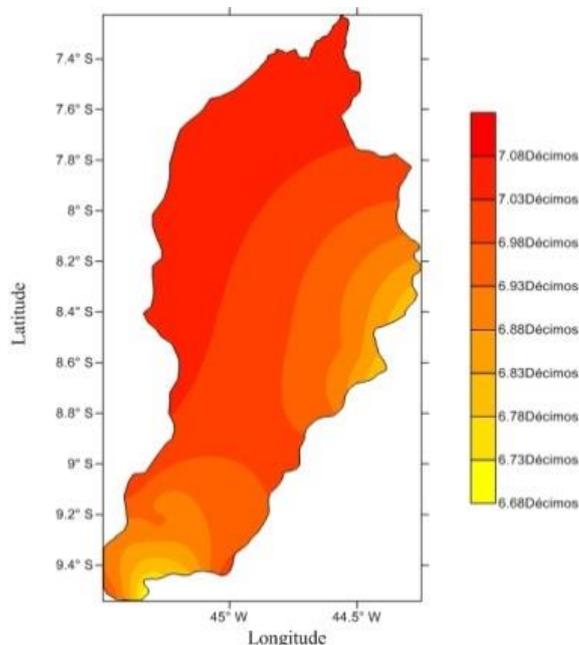


Figura 7b. Cobertura de nuvens (décimos) máxima, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 7c expressa a variabilidade anual da cobertura de nuvem para a BHRUP, destacando-se um acréscimo gradativo no sentido nordeste-sudoeste; as maiores áreas com cobertura de nuvens se centram na região sudoeste e na área costeira da região oeste, oscilando de 4,9 a 5,3 décimos além de uma área de baixa cobertura de nuvens no setor nordeste, com oscilação entre 4,7 e 4,9 décimos de cobertura.

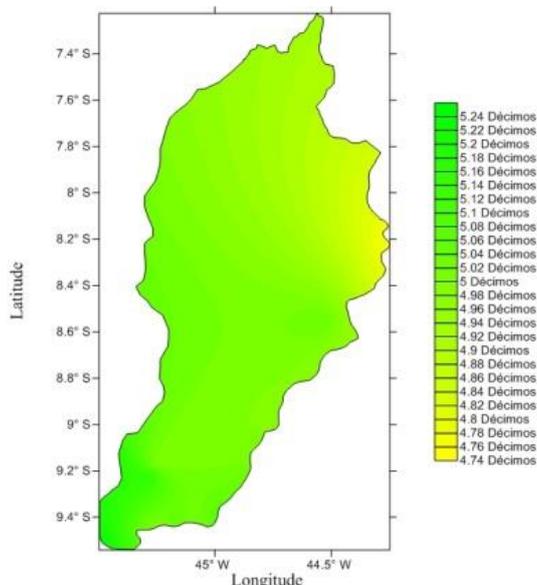


Figura 7c. Cobertura de nuvens (décimos) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 8 (a, b, c) representa a variabilidade da intensidade do vento (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

A Figura 8a representa a intensidade do vento mínima na BHRUP constatando-se uma redução da intensidade no sentido este-oeste cujas áreas com menores intensidades localizadas ao extremo sul e oeste da referida figura.

As máximas intensidades do vento estão representadas na Figura 8b; suas intensidades fluem entre 1,71 a 1,98  $\text{ms}^{-1}$  destacando-se que suas maiores intensidades estão centradas no norte da região sul e na região central no setor sul e no extremo sul da BHRUP, na região norte do setor central; em toda a área da região norte verificam-se as menores intensidade do vento.

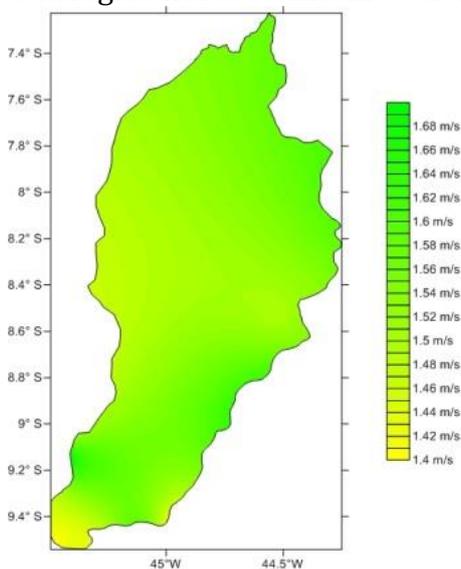


Figura 8. Intensidade vento ( $\text{ms}^{-1}$ ): (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

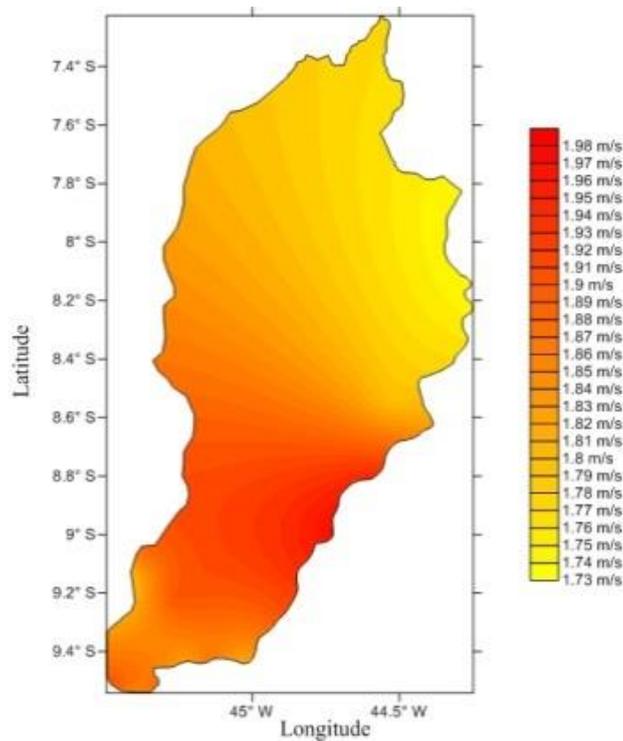
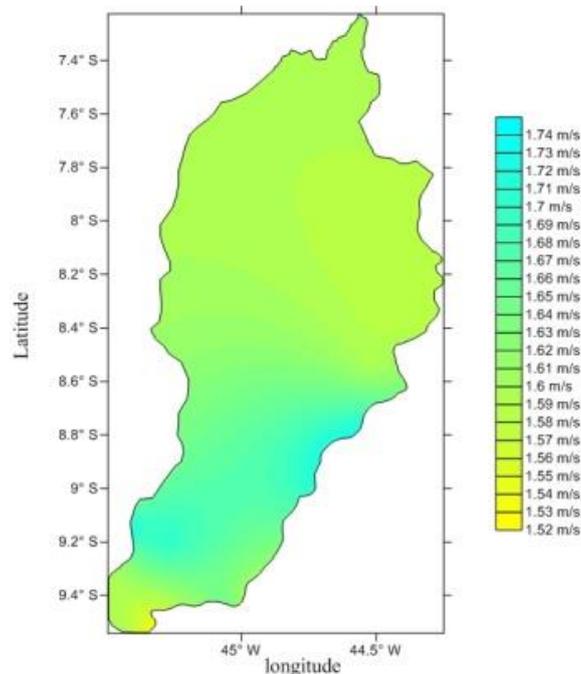


Figura 8. Intensidade vento ( $\text{ms}^{-1}$ ): (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e seu entorno.

Fonte: Medeiros (2014).



(a)

(b)

(c)

Figura 8. Intensidade vento ( $\text{ms}^{-1}$ ): (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e seu entorno.

Fonte: Medeiros (2014).

## Evaporação e evapotranspiração

A Figura 10 (a, b, c) representa a variabilidade da evaporação (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

A Figura 10a representa o poder evaporativo máxima que ocorre entre os meses de agosto e setembro, com flutuação 120 a 162 mm; nos setores norte, nordeste, sudeste e sudoeste, ocorrem os maiores índices evaporativos, destacando-se um aumento gradativo de sul para norte.

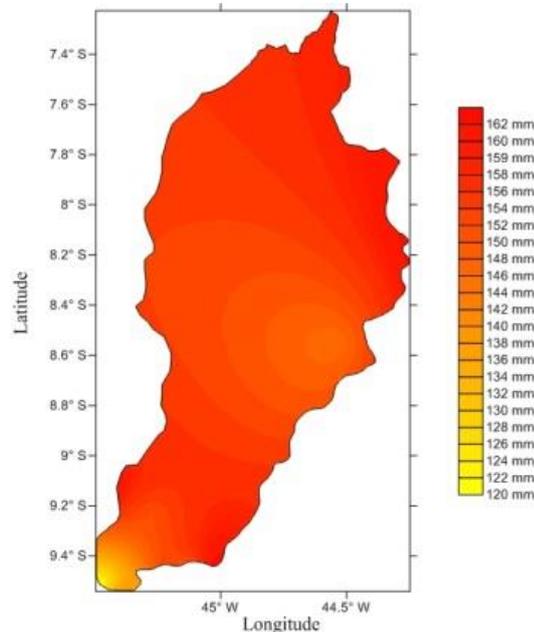


Figura 10a. Evaporação (mm) mínima para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 10b, tem-se a evaporação mínima que ocorre entre no mês de fevereiro com taxa evaporativa mensal oscilando entre 84 a 118 mm; constata-se que o maior índice evaporativo localiza em parte da área norte, a nordeste e sudeste e os menores índices evaporativos estão no extremo sul e a leste da região central.

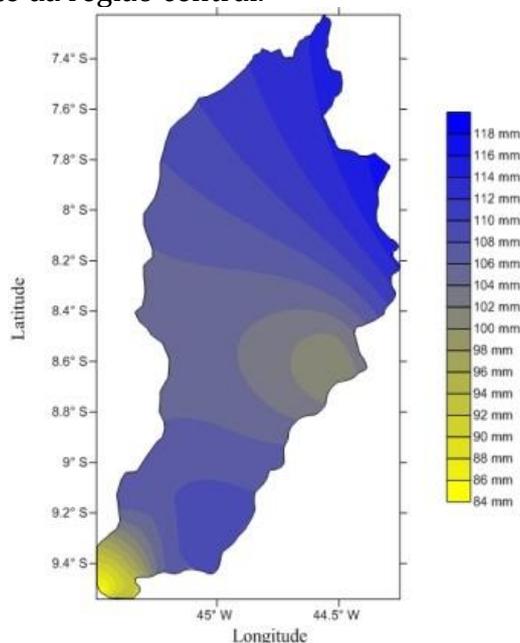


Figura 10b. Evaporação (mm) máxima para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

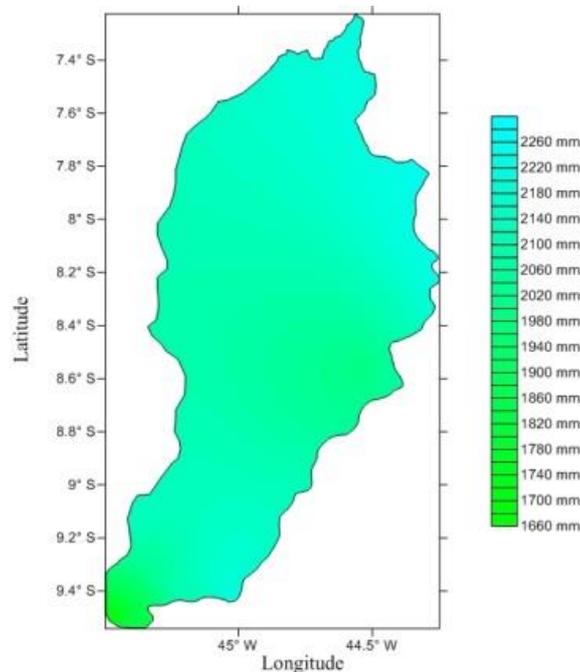


Figura 10c. Evaporação (mm) anual para a área da BHRUP e seu entorno.  
Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 11 (a, b, c) representa a variabilidade da evapotranspiração: (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI.

Na Figura 11a se encontram os índices de evapotranspiração mínima que ocorrem no mês de fevereiro, com flutuação de 84 a 118 mm; as áreas com menores índices de ETP estão localizadas no extremo sul e na parte leste da região central, enquanto nos setores norte, nordeste e sudeste, se localizam os altos índices de ETP.

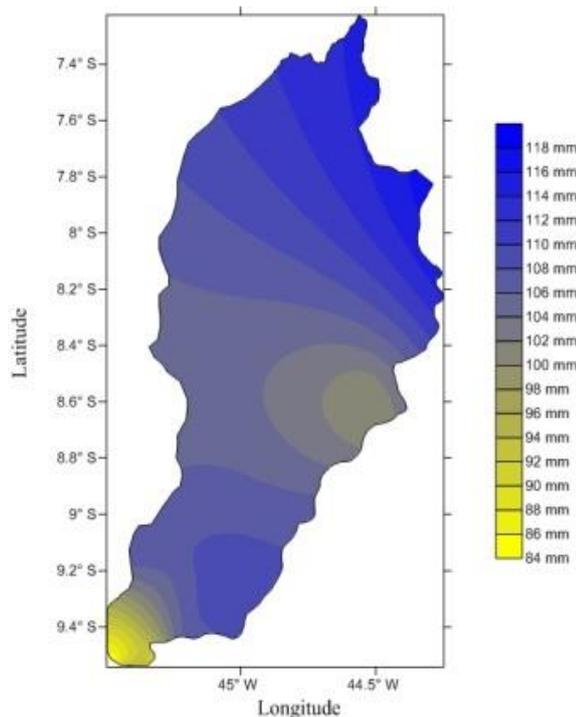


Figura 11a. Evapotranspiração (mm) mínima para a área da BHRUP e seu entorno.  
Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 11b se observa acréscimo de sul-norte, em toda a BHRUP, sendo que valores mínimos dos máximos se localizam no extremo sul e em uma pequena faixa ao este da área central.

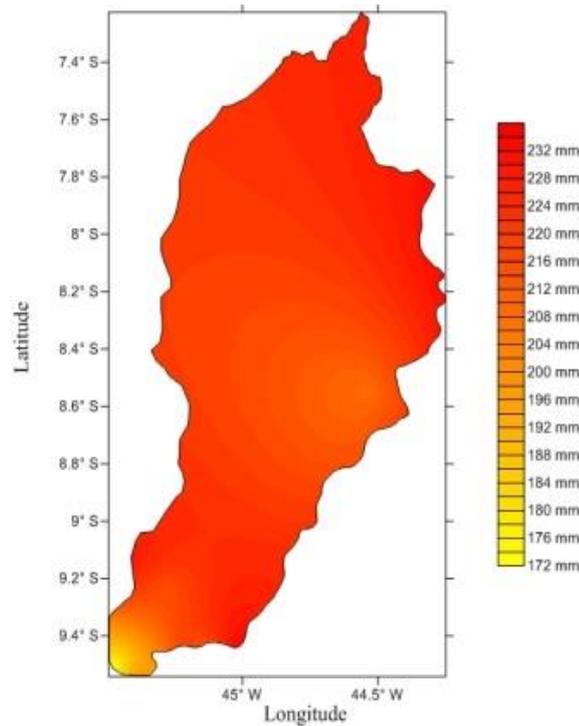
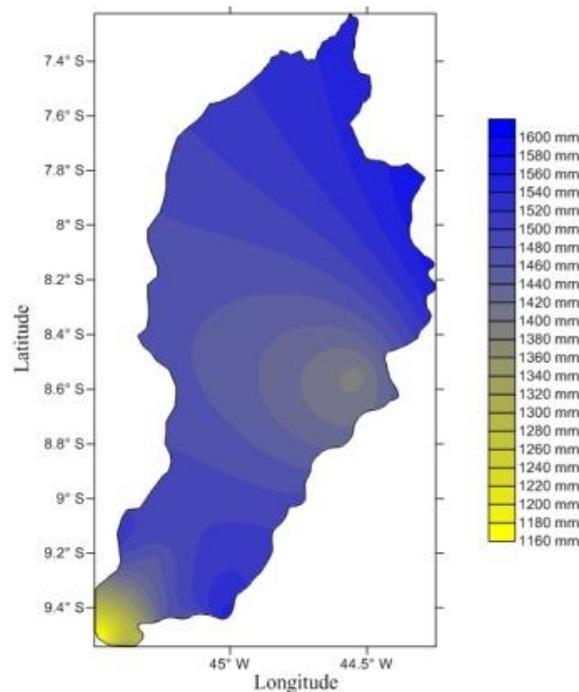


Figura 11b. Evapotranspiração (mm) máxima para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

Figura 11c se observa as menores taxas de evapotranspiração anual no extremo sul e na área leste da região central demais áreas se apresentam com evapotranspirações em elevações cujos valores máximos ocorrem nos setores norte, nordeste e sudoeste; a flutuação anual ocorre na faixa de 1.160 a 1.600mm.



(a) (b) (c)

Figura 11c. Evapotranspiração (mm) anual para a área da BHRUP e seu entorno. Fonte: Medeiros (2014).

## Balanço hídrico climatológico

A técnica mais utilizada para trabalhar com dados do balanço global de água do ponto de vista climatológico é o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1948; 1955). Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, por meio da pluviosidade (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), considerando um nível máximo possível de armazenamento (CAD), o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento efetivo de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (Camargo, 1971; Pereira et al., 1997).

O balanço hídrico climatológico é mais frequentemente apresentado na escala mensal e para um ano médio, ou seja, o balanço hídrico cíclico, elaborado a partir das normais climatológicas de temperatura média e chuva. De acordo com Camargo e Camargo (1993), trata-se de um instrumento útil e prático para caracterizar o fator umidade do clima, sendo sua utilização indispensável na caracterização climática (Vianello; Alves, 1991; Pedro Júnior et al. 1994) como, também, na definição da aptidão agrícola das regiões (Ortolani et al., 1970; Camargo et al., 1974).

A Figura 13 apresenta o balanço hídrico regional de Thornthwaite e Mather (1955) para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, observa-se que há excedente hídrico somente nos meses de fevereiro e março. De abril a novembro a situação é de deficiência. Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro a demanda hídrica ambiental (evapotranspiração) é superior à oferta (pluviosidade). O armazenamento é máximo nos meses de fevereiro e março, ou seja, o solo permanece com 100mm de água armazenada. Na verdade, de um total de 858,6 mm de precipitações por ano (em média), somente 87,3mm fica disponível para percolar ou escoar superficialmente e isso ocorre nos meses de fevereiro e março.

Tabela 3. Balanço hídrico regional de Thornthwaite e Mather (1955) para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto

Meses	T(°C)	P(mm)	ETP(mm)	EVR(mm)	DEF(mm)	EXC (mm)
Jan	24,6	180,8	109,7	109,7	0,0	0,0
Fev	24,5	152,4	100,1	100,1	0,0	51,2
Mar	25,3	157,2	121,1	121,1	0,0	36,1
Abr	25,4	97,9	115,7	114,2	1,5	0,0
Mai	25,4	22,0	117,5	73,4	44,1	0,0
Jun	24,9	2,8	104,8	23,4	81,4	0,0
Jul	25,0	0,8	109,1	8,5	100,6	0,0
Ago	26,2	0,8	130,1	3,6	126,5	0,0
Set	27,9	10,4	160,3	11,2	149,1	0,0
Out	27,8	53,4	167,3	53,6	113,7	0,0
Nov	25,9	123,8	128,8	123,8	5,1	0,0
Dez	24,8	144,4	116,7	116,7	0,0	0,0
TOTAIS	307,8	858,6	1481,4	859,4	622,0	87,3

Fonte: Medeiros (2014).

O gráfico abaixo representa o ciclo da deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, observa-se que nos meses de dezembro e janeiro ocorre à reposição de água no solo, enquanto que nos meses de fevereiro e março ocorrem os excedentes, as retiradas e as deficiências de águas ocorrem aos longos dos meses de abril a novembro.

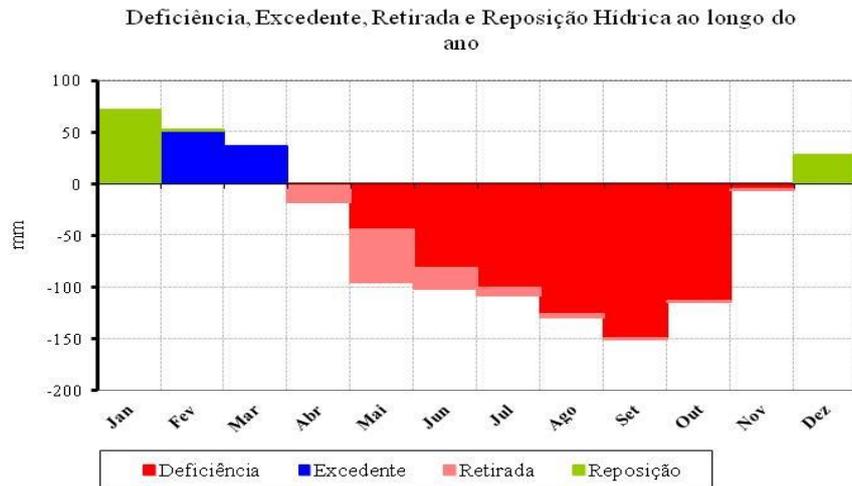


Figura 12. Gráfico do balanço hídrico para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

O estabelecimento dos regimes mais úmido é importante para estudos de previsão do tempo e principalmente para o planejamento agrícola, contribuindo para informações ao homem do campo na hora do preparo das terras para o plantio, evitando desta forma que ele plante em épocas não adequadas, diminuindo ou até mesmo suprimindo desperdício e prejuízos, e ainda tenha as condições adequadas para lucratividade e rendimentos agrícolas. Além do controle de doenças e pragas das plantas cultivadas.

No planejamento urbano visa eventos extremos de enchentes, alagamento, inundações, transbordamentos de lagos e lagoas.

Tais delimitações dos trimestres mais úmidos e as informações das épocas de menores umidades relativas do ar serviram de alerta as autoridades federais, estaduais e municipais além dos tomadores de decisões, para um melhor planejamento.

Os cenários pluviométricos incorporam de forma mais adequada a variabilidade espacial e temporal das chuvas e são mais compatíveis com a realidade física, permitindo tornar a classificação e a regionalização climática dinâmica e ajustada aos modelos de previsão climática em uso no Brasil.

O critério de classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) é menos restritivo que o de Thornthwaite (1948), já que preconiza escalas de aridez e semiaridez com maior amplitude.

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, apresenta significativa heterogeneidade climática, o que cria variados cenários em relação à disponibilidade e demanda hídrica. O fator clima atua dinamicamente junto com outros atributos do meio físico e biótico e é determinante quanto à ocorrência de significativas distinções geoambientais internas à bacia, incluindo diferenças ecológicas e até influências em padrões culturais e modos de uso dos recursos naturais.

O entendimento do comportamento dos parâmetros chuva, temperatura e outras variáveis relacionadas ao balanço hídrico climatológico, especialmente quanto às inconstâncias temporais e espaciais, podem contribuir para o entendimento da dinâmica físico-natural da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. No presente estudo ficou evidenciado que as variações das temperaturas (máxima, média e mínima) estão relativamente dentro do padrão normal do Estado, enquanto à pluviosidade, a dispersão temporal e espacial dos totais mensais e anuais é muito elevada. A este respeito, foi indicada a existência de padrões de distribuição espacial e temporal de chuvas.

O balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, é favorável a várias atividades agrícolas. Além da reduzida quantidade de chuvas no período seco, as temperaturas são elevadas e a umidade relativa do ar mantém abaixo da indicação da OMM. Para as plantas, a situação se complica sobremaneira durante o período seco, pois a ETP se mantém alta e o suprimento de água depende de absorção das camadas mais profundas dos solos. Nesse caso, é bom lembrar que os solos da região não apresentam restrições, inclusive no que se refere à capacidade de água subterrânea.

Os resultados apresentados no presente trabalho poderão colaborar para uma otimização das atividades agrícolas e outros aproveitamentos hídricos que exigem identificação de situações em que o clima é o fator limitante. Novas alternativas de uso e ocupação territorial, afinadas com a realidade físico-ambiental da bacia do rio Uruçuí Preto, devem ser avaliadas e sugeridas.

# ANÁLISE DA ENTROPIA DA PRECIPITAÇÃO

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

As variações climáticas intervêm na disponibilidade e pendência hídrica, condicionando a evento de situações críticas para a sociedade e para o meio ambiente. Existe forte analogia do volume, frequência e intensidade das chuvas com a disponibilidade hídrica superficial, subterrânea e a agricultura, já que a chuva representa a fase mais importante do ciclo hidrológico, sendo a fonte primária da maior parte da água doce terrestre. Há uma proporcionalidade quase que direta entre intensidade da chuva e infiltração. Quando as chuvas são regularmente distribuídas podem possibilitar infiltração maior, pois a velocidade de penetração no solo acompanha o índice precipitado. Chuvas torrenciais favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração pode ser inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo. Por conseguinte, é importante avaliar a dispersão temporal das chuvas, que normalmente é muito elevada na região tropical.

Os dados de precipitação são extremamente importantes, e em algumas situações essenciais, para muitas das atividades humanas, tais como: geração de energia elétrica, navegação fluvial, sistemas de irrigação (agricultura de forma geral), exploração de aquíferos, sistemas de reservação e suprimento de água para cidades e complexos industriais, prevenção da erosão hídrica, obras de arte (pontes, viadutos, portos e obras para dispersão de poluentes em corpos da água) e ocupação do solo (com relação a áreas inundáveis).

A análise da precipitação é dificultada pela extrema aleatoriedade do fenômeno na natureza. Os métodos convencionais para o estudo da precipitação atuam no sentido de espacializar a precipitação mensurada pontualmente em postos pluviométricos para toda a área de interesse. Desta forma, uma rede com elevado número de postos bem distribuídos em toda a área de interesse é necessária para um resultado satisfatório (Conti, 2002).

A variabilidade espacial da precipitação é influenciada pelo posicionamento geográfico face aos sistemas de circulação global (latitude e longitude), pela altitude, pelo declive, pela distância relativa a fontes de umidade, pela temperatura e pela direção e intensidade dos ventos dominantes. A cobertura vegetal do solo é por sua vez, influenciada pelo regime climático dominante, estando por isso intimamente associado à variabilidade espacial da precipitação (Nicolau, 2002).

A irregularidade (ou incerteza) da intensidade e ocorrência de chuva no tempo é uma das primeiras restrições para o desenvolvimento dos recursos hídricos e práticas de uso da água. Ao se desenvolver uma estratégia de âmbito regional para os recursos hídricos, com demandas atual e futura de água, encontram-se fatores dominantes para a tomada de decisão de prioridades para o desenvolvimento de grandes áreas ou demarcar os limites a fim de estabelecer a necessidades e viabilidade local. Uma medida de incerteza ou irregularidade de uma variável é a entropia. Usando a teoria de informação da entropia, definida por Shannon (1948), a incerteza de uma variável ou a incerteza de sua distribuição de probabilidade é o valor esperado negativo do logaritmo da Função de Densidade de Probabilidade (FDP) da variável.

Com relação à região Nordeste do Brasil, o Estado do Piauí apresenta-se como uma área de transição entre a região pobre em recursos hídricos (semiárido) e outra com mais disponibilidade de recursos (meio-norte), obtendo pontos em diferentes categorias de intensidade e densidade de entropia (Guedes, et al., 2010). Assim, é importante observar com mais detalhes

a classificação dos seus recursos hídricos, tendo apenas dados do Piauí como referência, para entender melhor suas peculiaridades geográficas e influência física sobre a aleatoriedade da variável em questão.

A variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, face à sua incerteza e irregularidade ao longo do tempo, constitui-se num problema crucial em estudos climatológicos. Esta variabilidade é ainda maior em regiões tropicais, particularmente no NEB, onde atuam vários sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência Intertropical, os Sistemas Frontais, as Brisas de Leste e os Vórtices Ciclônicos. Por outro lado, a temperatura média do ar apresenta baixa variabilidade, sendo, portanto, facilmente modelada em função das coordenadas geográficas, com alto nível de confiabilidade (Silva et al., 2003).

Dentre os vários trabalhos publicados, que tratam da influência de fatores fisiográficos e climáticos na distribuição espaço temporais da precipitação numa região, podem ser citados: relevo (Hendrick e Comer, 1970; O'connel et al., 1979); altitude (Singh, 1997); velocidade e direção do vento (Caffey, 1965; Sevruk e Nespor, 1998; Sevruk e Nevenic, 1998) e continentalidade (Nicolau, 2002).

Silva et al. (2003), analisando a precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na entropia, encontrou valores de entropia alto em locais com intensa precipitação, e baixas em locais de menores valores de precipitação e quando essa precipitação ocorre de forma irregular. Encontrando valores mais elevados da entropia para a região litorânea valores mínimos para o Cariri.

Em 1948, Shannon (1916-2001) apresentou o conceito central da entropia de uma fonte de informação. Nascia aí a Teoria da Informação, e o conceito de entropia ganhava uma nova faceta: agora ele dizia como armazenar e transmitir informação de maneira mais econômica. Assim a noção de entropia cabia no contexto de probabilidades, e não necessariamente em teorias físicas como Termodinâmica ou Mecânica Estatística (clássica ou quântica). De certa forma, sua presença era assegurada pelos métodos estatísticos e não pelos conceitos mecânicos da teoria (Lima et al., 2004).

Chapman (1986) aplicou o conceito de entropia condicional para comparar a eficiência de modelos hidrológicos. Rajagopal et al. (1987) apresentaram novas perspectivas para aplicação potencial da entropia em pesquisas relacionadas com recursos hídricos. Sonuga (1976) descreveu a aplicação do princípio da entropia no processo de modelagem de chuva-vazão, e observou que essa técnica pode ser utilizada quando a disponibilidade de dados é mínima.

Kawachi et al. (2001) utilizaram o conceito de entropia para avaliar o grau de variabilidade da precipitação pluvial no Japão e obtiveram mapas de disponibilidade hídrica, que permitiram avaliar sua distribuição na parte continental do Japão.

Harmancioglu e Yevjevich (1987) aplicaram o conceito de entropia transferindo informações hidrológicas entre pontos de rio. Foi concluído pelos autores que transferindo informações hidrológicas entre pontos do rio, usando o conceito bivariado ou multivariado com correlações lineares ou não lineares, o conceito de entropia pode ser usado para medir toda ou parte da informação transmitida.

Segundo Belo Filho (2010), a precipitação constitui a principal variável do ciclo hidrológico. Por isso, ela pode ser utilizada para representar o potencial hídrico de uma região. A desordem ou a incerteza na intensidade e na ocorrência de chuvas ao longo do tempo é uma das restrições primária ao gerenciamento dos recursos hídricos e para utilização eficiente da água. Esse autor defende também que a teoria da entropia oferece uma forma natural para determinar os riscos associados aos sistemas ambientais ou aos recursos hídricos podendo servir como base de análise de confiança. Sua natureza é estatística ou probabilística e pode ser interpretada como uma medida da quantidade do caos ou como a falta de informação sobre o sistema. Hafner (2007) entende que a aceitação e a participação da sociedade são fundamentais para se alcançar o objetivo desejado seja qual for à alternativa de uso racional da água adotada. Dessa forma, ações educacionais devem ser adotadas para informar e conscientizar a sociedade.

## Material e métodos

A área de interesse do estudo dispõe de uma rede de estações meteorológicas reduzida e espacialmente mal distribuída, o que dificulta uma boa caracterização das condições climáticas. Sendo assim, utilizou-se de dados interpolados, estimados e gerados por retas de regressões lineares múltiplas, através do software Estima\_T (Cavalcanti et al., 2006). Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foram utilizados dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) para o período de 1960 a 1990, que compreende 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo.

A bacia do rio Uruçuí Preto é formada por 25 municípios e 24 fazendas que contém dados pluviométricos com uma série de 30 anos (período de 1960-1990). (Tabela 1).

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos, municípios e fazendas e suas respectivas coordenadas geográficas para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-Piauí

Ordem	Posto	Município	Latitude ° '	Longitude ° '	Altitude metros
1	Alvorada Gurguéia	Alvorada Gurguéia	08 25	43 46	281,0
2	Alto Parnaíba - MA	Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220,0
3	Avelino Lopes	Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0
4	Fazenda Vereda da Mata	Avelino Lopes	10 22	43 58	500,0
5	Fazenda Viração	Avelino Lopes	09 53	43 54	430,0
6	Barreira do Piauí	Barreira do Piauí	09 57	45 29	500,0
7	Bom Jesus	Bom Jesus	09 04	44 21	220,0
8	Fazenda Conceição	Bom Jesus	08 46	44 24	390,0
9	Fazenda Barra Verde	Bom Jesus	09 18	44 31	260,0
10	Colônia do Gurguéia	Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200,0
11	Corrente	Corrente	12 26	45 09	434,0
12	Fazenda Barra	Corrente	10 03	45 04	490,0
13	Fazenda Caxingó	Corrente	10 31	45 13	500,0
14	Fazenda Jenipapeiro	Corrente	10 39	45 11	510,0
15	Cristalândia do Piauí	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600,0
16	Cristino Castro	Cristino Castro	08 48	44 13	220,0
17	Fazenda Lagoa Grande	Cristino Castro	08 33	44 32	320,0
18	Fazenda Japeganga	Cristino Castro	08 44	43 56	240,0
19	Fazenda Malhadinha	Cristino Castro	08 26	43 52	180,0
20	Curimatá	Curimatá	10 02	44 17	350,0
21	Fazenda São Francisco	Curimatá	10 28	44 03	600,0
22	Currais	Currais	09 00	44 24	320,0
23	Elizeu Martins	Elizeu Martins	08 12	43 23	210,0
24	Fazenda Puca	Elizeu Martins	08 03	43 39	280,0
25	Fazenda Chupeiro	Elizeu Martins	08 02	43 28	320,0
26	Gilbués	Gilbués	09 50	45 21	500,0
27	Fazenda Melancia	Gilbués	04 10	45 15	380,0
28	Fazenda Santa Maria	Gilbués	09 13	45 16	370,0
29	Fazenda Boqueirão dos Felipes	Gilbués	09 45	45 40	580,0
30	Fazenda Bela Vista	Gilbués	09 42	45 23	520,0
31	Fazenda Galheiro	Gilbués	10 03	45 22	630,0
32	Júlio Borges	Júlio Borges	10 19	44 14	389,0
33	Manoel Emídio	Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0
34	Monte Alegre do Piauí	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454,0
35	Fazenda Paus	Monte Alegre do Piauí	09 33	44 41	280,0
36	Fazenda Vereda da Glória	Monte Alegre do Piauí	09 45	44 52	290,0
37	Fazenda Regalo	Monte Alegre do Piauí	09 47	45 02	520,0
38	Morro Cabeça no Tempo	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479,0

39	Palmeira do Piauí	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0
40	Parnaguá	Parnaguá	10 13	44 38	316,0
41	Fazenda Barreiro	Parnaguá	09 59	44 37	310,0
42	Fazenda Mocambo	Parnaguá	09 56	43 56	300,0
43	Redenção Gurguéia	Redenção Gurguéia	09 30	44 36	365,0
44	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0
45	São Gonçalo do Gurguéia	São Gonçalo Gurguéia	10 01	45 18	440,0
46	Santa Filomena	Santa Filomena	09 05	46 51	380,0
47	Fazenda Cachoeira	Santa Filomena	09 15	45 43	380,0
48	Santa Luz	Santa Luz	08 55	44 03	340,0
49	Sebastião Barros	Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0

Fonte: Medeiros (2014).

O regime de precipitação que compreende os municípios e as fazendas da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, localizado na região sul do regime de precipitação do Estado, insere-se na faixa das isoietas de 478,7 a 1.413,3mm, com uma precipitação média anual em torno de 858,6mm. As chuvas de pré-estação, iniciando-se na segunda quinzena do mês de outubro, a caracterização do período chuvoso começa nos primeiros dias do mês de novembro e prolonga-se até o mês de março, tendo como trimestre mais chuvoso os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Medeiros, 2007)

Normalmente as chuvas têm intensidade moderada (de tempo regular e por volta de seis a nove horas de chuvas descontínuas diárias), seguidas de irregularidade devido às falhas dos sistemas meteorológicos atuantes. Salienta-se que a ocorrência de períodos de veranicos (ocorrências de vários dias consecutivos sem chuva durante o período chuvoso) no quadrimestre (dezembro, janeiro, fevereiro, março) é esperada. Sua magnitude é variada dependendo da época e dos fatores meteorológicos desativados. Tem-se registrado ocorrências com períodos de veranicos superiores a dezoito dias mensais no intervalo de tempo ocorrido dentro do quadrimestre (Medeiros, 2007).

A teoria da entropia da informação foi inicialmente definida por Shannon (1948). Neste estudo a entropia foi considerada como a estimativa da incerteza da ocorrência de um determinado evento num processo aleatório discreto, que pode ser obtida por:

$$H = -k \sum p_i \log p_i$$

Onde:

$p_i$  é o resultado da probabilidade da  $i$ -ésima variável aleatória discreta,  $k$  é uma constante positiva, cujo valor depende das unidades utilizadas, e  $H$  é a entropia da variável aleatória.

Assumindo a constante  $k$ , como unidade de estimativa, igual a 1 e a base do logaritmo 2, a Equação (1) pode ser simplificada como:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Onde:

$H$  é obtido em "bit", como unidade de medida da entropia, e  $n$  é o número possível de eventos da variável aleatória discreta.

A unidade de entropia pode ser bit para a base 2, napiers ou nats para a base neperiana e hartley para a base 10. Neste trabalho será utilizada a unidade bit para entropia, que significa dígito binário, ou seja, a menor unidade na notação numérica binária, que pode assumir o valor 0 ou 1.

Se todos os  $p_i$ 's são iguais, isto é,  $p_i = \frac{1}{n}$ , então a entropia é  $H = \log_2 n$ . Assim,  $H$  é uma função monotonamente crescente em  $n$ . Para um dado  $n$ ,  $H$  é máximo quando todos os  $p_i$ 's são iguais. Ao contrário,  $H$  é mínimo e igual a zero quando todos os  $p_i$ 's, exceto um, é zero. Isso

significa que todo resultado da variável aleatória é sempre o mesmo e, portanto, um dos  $p_i$ 's torna-se unitário. Assim, o valor da entropia, varia dentro do intervalo de zero a  $\log_2 n$ , de acordo com a forma da distribuição de probabilidade dos  $p_i$ 's. O valor da entropia decresce com o aumento do número de contraste e aumenta com o decréscimo desse número. Visto dessa maneira, a entropia pode ser considerada como uma estimativa funcional da incerteza associada à distribuição de probabilidade.

Para cada série histórica de precipitação de um ano, será admitido que  $r_i$  seja a precipitação pluvial diária correspondente ao enésimo dia do ano. Por exemplo, valores diários da precipitação pluvial de 1 de janeiro e 31 de dezembro para o mesmo ano podem ser expressos por  $r_1$  e  $r_{365}$ , respectivamente. Assim, a precipitação total durante o ano ( $R$ ), pode ser expressa pelo somatório dos valores diários, variando de  $i = 1$  até  $i = 365$ :

$$R = \sum_{i=1}^{365} r_i$$

onde os valores de  $r_i$  podem ser zero para alguns dias e diferentes de zero para outros.

As séries de precipitação formadas por  $r_1, r_2, \dots, r_n$  podem, assim, ser fixadas como a frequência de ocorrência acumulada de chuvas para 1, 2, ..., enésimo dia do ano, respectivamente. Assim, a frequência relativa da precipitação ( $p_i$ ) será obtida dividindo-se  $r_i$  pelo tamanho total da amostra ( $R$ ), ou seja:

$$p_i = \frac{r_i}{R}$$

A frequência relativa ( $p_i$ ) será fixada como uma probabilidade de ocorrência do total da precipitação no enésimo dia, e, portanto, sua distribuição representa a característica probabilística da partição temporal da precipitação ao longo do ano, isto é, a ocorrência da incerteza da precipitação. Substituindo a Equação (4) na Equação (3), teremos:

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{R} \log_2 \left( \frac{r_i}{R} \right)$$

De acordo com a Equação (5) o valor de  $H$  é independente da ordem sequencial de  $r_i$  na série temporal; assume o valor zero quando  $R$  ocorre apenas uma vez no ano e o valor máximo ( $\log_2 n$ ) quando  $R$  ocorre em todos os dias do ano. Logo, a entropia aproxima-se do seu valor máximo quanto mais uniforme for sua distribuição, isto é, quando os dados da série apresentam pouca variabilidade temporal. Assim,  $H$  pode ser uma estimativa da variabilidade da precipitação no sentido de escala.

Quando as séries de precipitação anuais para  $n$  anos estão disponíveis, para um mesmo posto pluviométrico, a melhor estimativa da entropia anual pode ser obtida através da média aritmética dos valores da entropia:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H$$

Onde:

$H$  é a entropia média e

$n$  o número de anos que foram utilizados no cálculo de  $H$ .

O ganho de uma informação resulta no decréscimo da entropia e vice-versa. A entropia torna-se zero quando existe certeza absoluta da ocorrência de certo evento, ou estatisticamente, quando todas as probabilidades de um conjunto, exceto uma, é zero.

## Resultados e discussão

A análise da pluviosidade nas estações seca e chuvosa permite perceber a variabilidade na distribuição espacial e temporal das chuvas (Figura 1), devido uma barreira topográfica que interfere significativamente na passagem do ar úmido proveniente dos vestígios das frentes fria. No período chuvoso, que se estende de outubro a abril, o total médio pluviométrico da área em estudo varia entre 53,8 a 180,8mm. Já no período seco, que se estende de maio a setembro, esta área permanece com totais pluviométricos fluando entre 0,8 a 22,0mm. A variabilidade dos índices pluviométricos entre os quarenta e nove postos fluam de 478,7 a 1.413,3mm, esta flutuações bruscas se devem a barreira topográfica e aos números de anos de coletas das chuvas, ou seja, municípios como Alvorada do Gurguéia, Avelino Lopes, Colônia do Gurguéia e Manoel Emídio tem uma série pluviométrica de 17 anos. A vegetação predominante é a parque e em menor proporção, manchas de cerrado e caatinga arbórea, o que comprova a ocorrência de um clima relativamente mais úmido.

Salienta-se que os índices pluviométricos e a sua distribuição sazonal são decorrentes da conjugação entre os mecanismos dinâmicos da atmosfera, que têm influência regional, portanto extrapolando os limites da bacia, e os fatores estáticos, de influência local.

A configuração do relevo e os vestígios de entrada das frentes frias com maiores atividades são fatores decisivos para a distribuição espacial e temporal das chuvas e determinantes para os processos termodinâmicos em toda área de estudo.

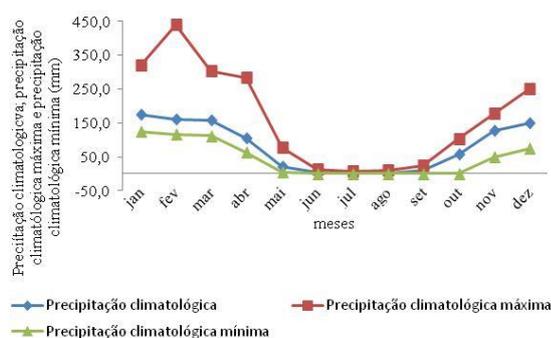


Figura 1. Distribuição espacial das chuvas máximas, médias e mínimas anuais para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-Piauí.

Fonte: Medeiros (2014).

De qualquer modo, considerando que a pluviosidade tende a aumentar das baixas para as altas altitudes, é possível que nos topos das chapadas da área central da bacia os índices sejam ligeiramente maiores se comparados aos vales. A ausência de dados no topo da bacia não permite confirmar tal possibilidade. Isso não indicaria maior disponibilidade hídrica devido à elevada combinação dos solos como descrito, Solos com Horizonte B latossólico, presente na associação LVD10; solos poucos desenvolvidos ocorrem na associação R8; Solos Arenos Quartzosos, constituindo a associação AQd2; e solos concessionários tropicais, fazendo parte da associação SCT5.

Tabela 2. Valores da precipitação média, período chuvoso e período seco, entropia média, período chuvoso e período seco, valores máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variância da precipitação e entropia média e dos períodos chuvoso e seco para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI

PRECIPITAÇÃO E ENTROPIA MÉDIA	
Precipitação média – 937,6 mm	Entropia média – 5,23 bits
Valor máximo – 1.945,6 mm	Valor máximo - 6,12 bits
Valor mínimo – 577,5 mm	Valor mínimo – 4,51 bits
Desvio padrão – 709,2 mm	Desvio padrão – 0,80 bits
Coefficiente de variância - 0,756%	Coefficiente de variância – 0,154%
PRECIPITAÇÃO E ENTROPIA DO PERÍODO CHUVOSO	
Precipitação período chuvoso - 813,5 mm	Entropia período chuvoso – 4,50 bits
Valor máximo – 1778,1 mm	Valor máximo – 5,40 bits
Valor mínimo – 532,0 mm	Valor mínimo – 3,75 bits
Desvio padrão – 653,5 mm	Desvio padrão – 0,82 bits
Coefficiente de variância – 0,803%	Coefficiente de variância – 0,185%
PRECIPITAÇÃO E ENTROPIA DO PERÍODO SECO	
Precipitação período seco – 126,8 mm	Entropia período seco – 0,50 bits
Valor máximo – 359,1 mm	Valor máximo – 1,14 bits
Valor mínimo – 48,5 mm	Valor mínimo – 0,34 bits
Desvio padrão – 161,6 mm	Desvio padrão – 0,41 bits
Coefficiente de variância – 1,275%	Coefficiente de variância – 0,764%

Fonte: Medeiros (2014).

A Tabela 2, tem-se um resumo dos parâmetros estatísticos para os valores da precipitação média, período chuvoso e período seco, entropia média, período chuvoso e período seco, valores máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variância da precipitação e entropia média e dos períodos chuvoso e seco para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

Destacamos os valores dos coeficientes de variâncias com alta significância para os índices de precipitações e os da entropia, os valores das entropias médias, para o período chuvoso e o período, com ênfase a entropia do período seco com sendo a mais baixa entre os períodos.

Na Figura 2, tem-se o demonstrativo do gráfico da distribuição da chuva média anual e da entropia média para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí, na área territorial da Chapada das Mangabeiras, observa-se a variabilidade da entropia média com oscilação entre 4,6 a 6,0 bits, com destaque para a fazenda Vereda da Mata, Curimatá, Manoel Emídio, Paranaçu e Sebastião Barros, onde ocorreram baixos valores de precipitações médias seguidos de entropias médias baixas.

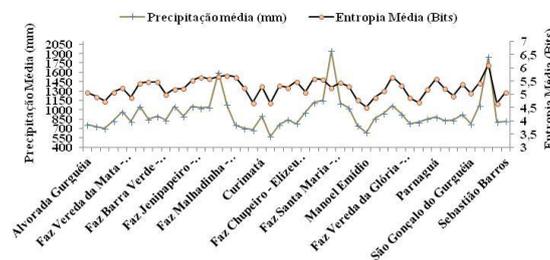


Figura 2. Gráfico da distribuição da chuva média anual e da entropia média para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.

Fonte: Medeiros (2014).

A Figura 3. Demonstram a distribuição da precipitação e entropia no período chuvoso para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Observa-se que altos valores de precipitações estão sendo representados por baixos valores de entropias e alto valores de entropia ocorrem baixos valores de precipitações com exceções para as localidades Fazenda vereda da Mata onde os índices pluviométricos e a entropia fora elevados, Maneol Emidio e Sebastião Barros com índices de precipitação e entropias baixos, fazenda Malhadinha com índices de precipitação alto

e entropia baixa, estas fluações acima e abaxos nos índices referencaidos devem-se a flutuação dos fatores provocadores de chuvas e aos efeitos locais.

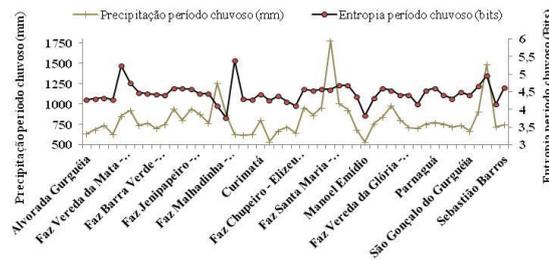


Figura 3. Gráfico da distribuição da precipitação no período chuvoso e da entropia para o período chuvoso da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.  
Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 4. Têm-se os Gráficos das distribuições da precipitação e da entropia para o período seco da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí observa-se que a predominancia de altas entropias para baixos índices de pluviosidade em quase toda área de estudo, com excessão para as fazendas Malhadinha, Chupeiro, vereda da Goria e Sebastião Barros que a elevação da entropia segue os altos valores da precipitação para o periodo seco.

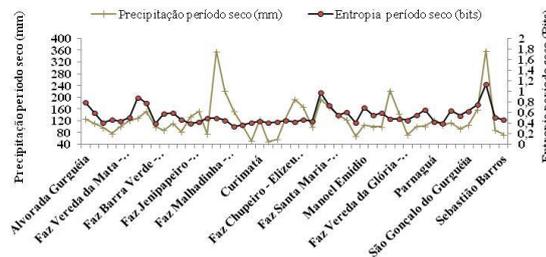


Figura 4. Gráfico da distribuição da precipitação no período seco e da entropia para o período seco da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí.  
Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

O estabelecimento dos regimes mais úmido é importante para estudos de previsão do tempo e principalmente para o planejamento agrícola, contribuindo para informações ao homem do campo na hora do preparo das terras para o plantio, evitando desta forma que ele plante em épocas não adequadas, evitem desperdícios e prejuízos, e ainda tenha as condições adequadas para lucratividade e rendimentos agrícolas. Além do controle de doenças e pragas das plantas cultivadas.

Tais delimitações dos trimestres mais úmidos e as informações das épocas de menores umidades relativas do ar serviram de alerta as autoridades federais, estaduais e municipais além dos tomadores de decisões, para um melhor planejamento.

No planejamento urbano visa eventos extremos de enchentes, alagamento, inundações, transbordamentos de lagos e lagoas.

Encontraram-se valores de entropia alto em locais com intensa precipitação, e valores de entropias baixas em locais de menores valores de precipitação e quando essa precipitação ocorre de forma irregular.

Obtendo pontos em diferentes categorias de intensidade e densidade de entropia, assim, é importante observar com mais detalhes a classificação dos seus recursos hídricos, tendo apenas dados da área estudada como referência, para entender melhor suas peculiaridades geográficas e influência física sobre a aleatoriedade da variável em questão;

Os cenários pluviométricos incorporam de forma mais adequada à variabilidade espacial e temporal das chuvas e são mais compatíveis com a realidade física, permitindo tornar a classificação e a regionalização climática dinâmica e ajustada aos modelos de previsão climática em uso no Brasil.

A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, apresenta significativa heterogeneidade climática, o que cria variados cenários em relação à disponibilidade e demanda hídrica. O fator clima atua dinamicamente junto com outros atributos do meio físico e biótico e é determinante quanto à ocorrência de significativas distinções geoambientais internas à bacia, incluindo diferenças ecológicas e até influências em padrões culturais e modos de uso dos recursos naturais.

Os resultados apresentados no presente trabalho poderão colaborar para uma otimização das atividades agrícolas e outros aproveitamentos hídricos que exigem identificação de situações em que o clima é o fator limitante. Novas alternativas de uso e ocupação territorial, afinadas com a realidade físico-ambiental da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí deve ser avaliadas e sugeridas.

# ESTIMATIVA DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS UTILIZANDO MODELO MÉDIA MÓVEL

Raimundo Mainar de Medeiros  
Francisco de Assis Salviano de Sousa  
u  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

As enchentes no Brasil e no mundo tem se intensificado devido à relação direta com a intensidade e magnitude das chuvas (Grimm, 2011; Min et al., 2011). Portanto, é necessário que se tenha conhecimento da forma como a chuva se distribui espacial e temporalmente em estudos relacionados ao manejo, conservação do solo e da água, e em construções de obras hidráulicas, para definir a vazão de projeto (Rodrigues, 2008; Cecílio, 2009; Santos et al., 2010; Aragão, 2013). Deste modo, os estudos de precipitações máximas intensas são realizados para se ter uma prospecção do comportamento da chuva ao longo dos anos, a fim de se evitar futuras catástrofes.

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requerem um conhecimento profundo dos mesmos. Isto implica em dispor ao longo do tempo, assim como no espaço geográfico da bacia hidrográfica, de informações relativas às quantidades de água armazenadas, às vazões na rede de drenagem, aos usos dos recursos hídricos e a qualidade da água.

A importância do gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos aumenta na proporção em que esses recursos se apresentam de forma escassa, especialmente nas regiões semiáridas do mundo, onde ocorrem baixa taxa de pluviometria, alta taxa de evaporação e irregular distribuição espaço-temporal das chuvas. Nessas regiões a água é um elemento fundamental no quadro socioeconômico da região, gerando a necessidade de racionalização do seu uso. Portanto, o planejamento dos recursos hídricos ganha dimensão fundamental; através dele se estabelecem diretrizes a serem seguidas para proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação desses recursos conforme Galvêncio (2002).

As medições hidrológicas constituem uma base importante de informações, porém, elas não são contínuas no espaço e no tempo. Na região nordeste do Brasil (NEB), talvez mais do que em outras regiões, são poucas as séries históricas de informações disponíveis quando aos volumes armazenados nos açudes ou às vazões nos cursos de água e praticamente inexistentes aquelas relativas à qualidade da água. Já as informações sobre precipitações são mais densas e, geralmente, encontra-se séries históricas relativamente longas.

Em região de clima de áreas próximas contrastantes (de um lado chuvoso do outro semiárido), como o NEB e em especial o Estado do Piauí, o monitoramento da precipitação, principalmente, durante o período chuvoso é muito importante para tomada de decisões que tragam benefício para população. Um bom monitoramento da precipitação pluviométrica é uma ferramenta indispensável na mitigação de secas, cheias, enchentes, inundações, alagamentos (Paula et al., 2010).

A avaliação de impactos de mudanças do clima sobre os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica ou região pode ser realizada a partir das simulações dos próprios modelos climáticos segundo Milly et al., (2005) e UK Met Office, (2005) ou utilizando-se a precipitação e a temperatura do ar calculado por esses modelos como dado de entrada em modelos hidrológicos de acordo com os autores Vicuna et al., (2007) e Maurer et al., (2009).

Desde épocas mais remotas que o homem procura conhecer, de forma empírica, e mais recentemente de forma científica, como se desenvolverão as complexas interações do meio ambiente. Em recursos hídricos, procura-se sintetizar esse conhecimento através de modelos que possam quantificar qualificar e gerenciar a água disponível no ciclo hidrológico. Em projetos na área de recursos hídricos, é necessário conhecer a série de registros de vazões. Essa série deve ser representativa dos eventos ocorridos na bacia hidrográfica, e, por consequência, composta de dados de longo período. A partir desses dados, o pesquisador busca conhecer a cheia de projeto, que é a maior enchente para a qual uma dada obra hidráulica será projetada. Em contrapartida a essa necessidade, não raro essas séries são curtas e muitas vezes não existem. Essa escassez ou falta deve-se ao seu alto custo de obtenção e/ou ao modelo de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. A saída para esse impasse é a modelagem das séries de vazões.

Beven e Moore (1994) trabalharam com modelos chuva-vazão que levam em consideração os parâmetros relevo, a geologia, o tipo de solo e o tipo de ocupação do solo. Segundo Bruijnzeel (1997) e O'Loughlin et al. (1990) os modelos hidrológicos podem ser úteis no manejo de bacias hidrográficas, tanto para seu planejamento quanto para avaliar o impacto de mudanças no uso da terra. Para isso o modelo necessita descrever os processos dominantes adequadamente, e ser aplicável numa bacia onde o solo e a vegetação variem espacialmente, de tal forma, que as previsões possam auxiliar na tomada de decisão de qual uso do solo é o mais interessante para uma determinada situação. Os hidrólogos têm desenvolvido modelos matemáticos capazes de transformar a chuva em vazão, através de um conjunto de equações que procuram representar as diversas fases do ciclo hidrológico (Tucci, 1998).

Maksinovic (2001) alerta que as bacias devem ser usadas como unidade de planejamento e gerenciamento não só da água, mas também de outros recursos e atividades econômicas e humanas, onde qualquer intervenção deve ser estudada e avaliada suas consequências e benefícios para a bacia. Na região semiárida, úmida, subúmida, cerrado, cerradão e na faixa de transição do NEB, onde os rios são intermitentes, o principal modo de armazenar água e torná-la disponível aos diversos usos que dela se faz, é através da construção de açudes que, ao barrar um curso de água, provocam o armazenamento.

Com a urbanização, a cobertura da bacia é em grande parte impermeabilizada com edificações e pavimentos e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações (Tucci, 2007):

Oliveira et al. (2010), lembra que ao cessar as chuvas, os rios continuam a “correr” por algum tempo, alimentados por águas que escoam do terreno saturado em níveis mais elevados do que a calha principal ou “calha viva” do rio.

Ao cessar completamente o escoamento de base do rio a água continua a escoar dentro do “pacote” de sedimentos dendríticos (cascalho, areia, silte e argila) que no conjunto constituem o depósito aluvial (Oliveira, 2001). Quando o rio deixa de “correr” na superfície, este aluvião vai perdendo gradativamente suas reservas hídricas acumuladas, podendo vir a secar totalmente no período de estiagem.

O trabalho de Benoit et al. (2000) contribui no sentido do acoplamento entre modelos atmosféricos e hidrológicos na escala regional, realizando estudos de caso para várias sub-bacias da região sudeste da bacia do rio Ontário, no Canadá. Para atingir esse propósito foi utilizado o modelo hidrológico distribuído Watflood, desenvolvido pela Universidade de Waterloo, acoplado a um modelo atmosférico não-hidrostático de mesoescala, integrando-os em resoluções horizontais de 35, 10 e 3 km. O modelo hidrológico foi alimentado com precipitações derivadas do radar de King City, e também com observações de estações pluviométricas e fluviométricas disponíveis para o caso, isso permitiu várias comparações e validações. Dessa forma, o experimento explicitou algumas incertezas associadas a cada uma das ferramentas, modelo hidrológico e modelo atmosférico, além de demonstrar a natureza complementar desses modelos, quando utilizados em conjunto. Os padrões de precipitação prevista foram também comparados com medições de estações pluviométricas e com dados de radar. Foi demonstrado que o

modelo hidrológico é suficientemente sensível e adequado para diagnosticar erros tanto nos dados do modelo quanto nos de radar, mostrando-se uma ferramenta nova e interessante para validar e interpretar resultados produzidos por modelos atmosféricos. A dependência entre bacias e sub-bacias pode ser muito útil para a compreensão dos possíveis problemas advindos das mudanças espaciais de eventos na atmosfera modelada.

No tema clima, por exemplo, Silva (2004) e Seabra (2004) apresentam pesquisas que inter-relacionam fenômenos climáticos às vazões observadas em bacias hidrográficas. Um exemplo clássico dessa conexão entre fenômenos climáticos e hidrológicos é a relação dos fenômenos El Niño e La Niña com as anomalias positivas e negativas de vazões em algumas bacias hidrográficas integrantes do (definir SIN), em especial, as localizadas nas regiões Sul e Nordeste do Brasil, conforme já comentado.

Quanto ao enfoque estatístico, pode-se destacar Tucci (2002), que define as vazões mínimas ou de estiagem, como sendo as vazões que em uma determinada série histórica apresentam os menores valores da série ou que não atendem às necessidades das demandas.

A previsão de vazão é um verdadeiro desafio utilizado para o gerenciamento dos recursos hídricos numa bacia (Moraes, 1995; Moraes, 1996). A previsão de inundações, da umidade do solo para agricultura, os níveis de navegação de uma via, a disponibilidade hídrica para abastecimento de água, irrigação e produção de energia são usos conhecidos para a previsão antecipada da vazão numa bacia hidrográfica (Tucci, 2002).

Smakhtin (2001) afirma que os fatores naturais que influenciam o comportamento das vazões mínimas, seja para perda ou ganho, incluem: a distribuição e as propriedades de infiltração do solo, as características hidráulicas, extensão de aquíferos, a taxa e a frequência de recarga do aquífero, a evapotranspiração da bacia, a distribuição da vegetação, a topografia e o clima.

Souza et al. (2010) aplicaram o modelo IPHS I na Bacia Hidrográfica do rio Araguari a fim de simular a variação da vazão com a precipitação e verificar possível impacto ambiental na vazão de saída devido a construção de barragens ao longo do rio. Os autores verificaram que o modelo hidrológico apresentou resultados relevantes na representação do hidrograma em pontos específicos na bacia, mas com pequenas discrepâncias entre valores observados e os simulados. Essas discrepâncias foram verificadas devido à falta de dados. Os autores sugerem métodos para se obter essas informações adicionais. (Eslamian e Biabanak, 2008; Rao e Srinivas, 2006; Samuel et al., 2011, Fill, 1987). Também em Malekinezhad et al., 2011. Um modelo, segundo Tucci (2005), é a representação simplificada de algum objeto ou sistema, numa forma de fácil acesso e uso com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Devido à complexidade da natureza física, o modelo leva em consideração algumas simplificações dos fenômenos existentes no processo. Dentre os modelos de chuva-vazão, há aqueles específicos que podem ser usados para tais fins, dependendo dos parâmetros e características da bacia (Germano et al., 1998). Na literatura há diferentes modelos chuva-vazão: HEC-1, SSARR, IPH2, STANFORD IV e HYMO entre outros (Viegas et al. 2004).

Desta forma, nota-se que a modelagem em si engloba uma série de variáveis. Aqui apesar de a modelagem não explicitar variáveis, subentende-se que elas estão representadas nos valores estimados. Nesse entendimento, o objetivo deste trabalho é o de utilizar o modelo IPH II para estimar as vazões médias diárias na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP).

## **Material e métodos**

Os postos fluviométricos localizados nos municípios de Jerumenha e Cristino Castro registram vazões médias de 6,9 a 6,1  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  no trimestre mais seco, respectivamente. E vazões médias de 90  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  a 54  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , no trimestre mais chuvoso. A precipitação pluvial média é de 913,9 mm/ano em toda a bacia, a evapotranspiração média é de 1.470,7 mm/ano.

Para essa análise foram utilizados dados de precipitação média mensal e anual, adquiridos junto a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) e Instituto Nacional de meteorologia (INMET) para o período de 1960 a 1990.

Para a modelagem foram utilizadas 49 séries pluviométricas diárias, no âmbito da BHRUP (Figura 1), com 30 anos, de 1960 a 1990, com intervalo de coleta de dados que atende aos requisitos do modelo chuva-vazão aqui aplicados. Os dados de vazões foram gentilmente cedidos pela Companhia de Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) - agencia Teresina - PI, para o período de 01/12/2004 a 02/02/2011.

## Modelo IPH II

Segundo Tucci (1993) um dos objetivos do modelo IPHS II é o de melhorar a compreensão dos processos hidrológicos e dos algoritmos utilizados na simulação. O Modelo IPH II é um modelo conceitual que simula o processo chuva-vazão, com a manipulação de um número mínimo de parâmetros, e baseia-se nos seguintes algoritmos: Perdas por evaporação e interceptação; separação de escoamento; propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo.

Os parâmetros que compõem o modelo são:

$I_o$  - capacidade de infiltração par  $t=0$  ( $\text{mmh}^{-1}$ );  $I_b$  - capacidade de infiltração mínima ( $\text{mmh}^{-1}$ );  $h$  - parâmetro de decaimento da infiltração no solo (adimensional);  $R_{\text{máx}}$  - capacidade máxima do reservatório de interceptação (mm);  $K_{\text{sup}}$  - Parâmetro de propagação do escoamento superficial (h);  $K_{\text{sub}}$  - Parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo (h);  $T_c$  - tempo de concentração da bacia (h); AIMP - Porcentagem de área impermeável na bacia (%).

## Ajuste e calibração do IPH II

O processo de calibração minimiza os erros entre a saída do modelo e os dados observados, esse processo se torna complicado em virtude do grande número de parâmetros não mensuráveis que precisam ser estimados (Veith et al., 2010). Esta calibração pode ser por tentativa e erro ou automática. A versão WIN\_IPH II do modelo IPH II, possibilita realizar a calibração do modelo de forma automática, além da manual, com base em dois métodos numéricos de otimização: monobjetivo e multiobjectivo. O algoritmo SCE-UA é utilizado na calibração monobjetivo e o algoritmo MOCOM-UA é utilizando na calibração automática multiobjectivo. Esta versão tem características de promover uma interface melhor entre o modelo e o usuário através da apresentação dos resultados de diferentes interfaces em forma de gráficos e animações (Bravo et al., 2007).

Obtidos os valores de precipitação dos postos pluviométricos e características das peculiaridades das sub-bacias, os parâmetros (Tabela 1) do modelo IPH II foram estimados de tal forma que a vazão nos pontos de controle Uruçuí e Jerumenha se equiparasse com os valores observados. Os pontos localizados a montante do rio Uruçuí Preto está a 180 e 230 km de sua afluência.

Tabela 1. Parametrização do modelo IPH2

Parâmetros	$I_o$ (mm/h)	$I_b$ (mm/h)	H	$R_{\text{máx}}$ (mm)	% da Área Impermeável	VBEIC* ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ )
Uruçuí	8	3	0,5	25	0,10	0,002
Jerumenha	11	5	0,5	28	0,10	0,02

\*Vazão específica de base no início da chuva ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{Km}^{-2}$ )

Em princípio os dados utilizados na parametrização do modelo foram da literatura (Germano et al., 1998; Brun e Tucci, 2001; Tucci, 2005). Para tornar os dados próximo dos resultados observados  $I_0$  variou entre 6 a  $15 \text{ mmh}^{-1}$ ,  $I_b$  entre 2 a  $20 \text{ mmh}^{-1}$ , modificados constantemente até a resposta almejada (resultados equiparados aos observados). Haja vista que o parâmetro de decaimento da infiltração no solo  $H$  é muito sensível, foi determinado um valor constante baseado nos valores encontrados na literatura. Como esse parâmetro é adimensional o valor adotado foi de 0,5. Assim, foram trabalhados apenas os valores de infiltração  $I_0$  e de percolação  $I_b$ . Os valores de  $R_{\text{máx}}$  foram estimados entre  $1,4 < R_{\text{máx}} < 33$ . A porcentagem da área impermeável variou 0,10 a 0,20%, pois em grande extensão do rio a bacia está inserida em área praticamente rural. Por fim, os valores da vazão de base especificam no início da chuva (VBEIC) foram estimados para a BHRUP estão na faixa de 0,002 a  $0,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ .

### Modelos médias-móveis

Foram utilizados modelos médias-móveis de ordem inferior  $q$  para suavizar as séries temporais de saída do modelo IPH II e facilitar a análise dos resultados, segundo Box e Jenkins (1970).

### Resultados e discussão

A Figura 1 exhibe as vazões médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Bom Jesus, no âmbito da BHRUP. Notam-se fortes discrepâncias entre os valores estimados e observados nos anos de 2009 e 2010. Os valores de eficiência do modelo oscilaram entre 6,2 e 6,8 indicando moderada eficiência, principalmente na representação dos picos observados. Ressalte-se que o comportamento das vazões estimadas (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) segue o ritmo das vazões observadas com defasagens nos seus picos.

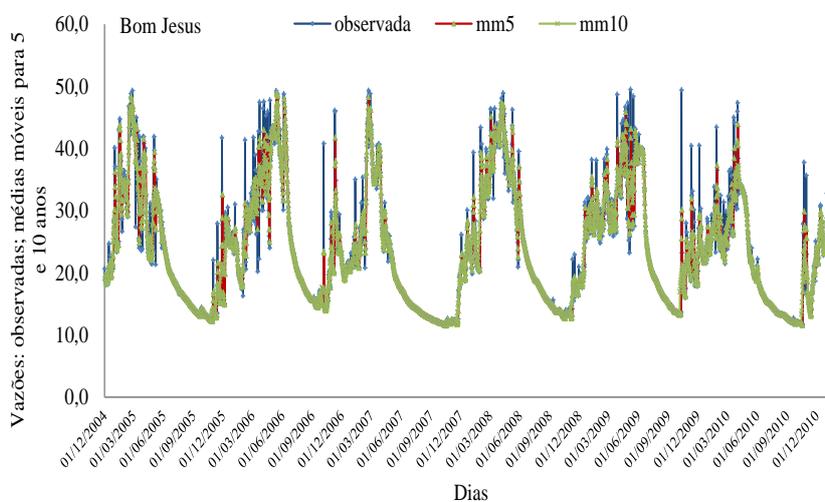


Figura 1. Vazões ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Bom Jesus.

Fonte: Medeiros (2014).

Na Figura 2 podem ser vistas as vazões médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Cristino Castro. A análise

dessa simulação segue os mesmos critérios da análise anterior, destacando-se menores defasagens em relação aos picos de vazões.

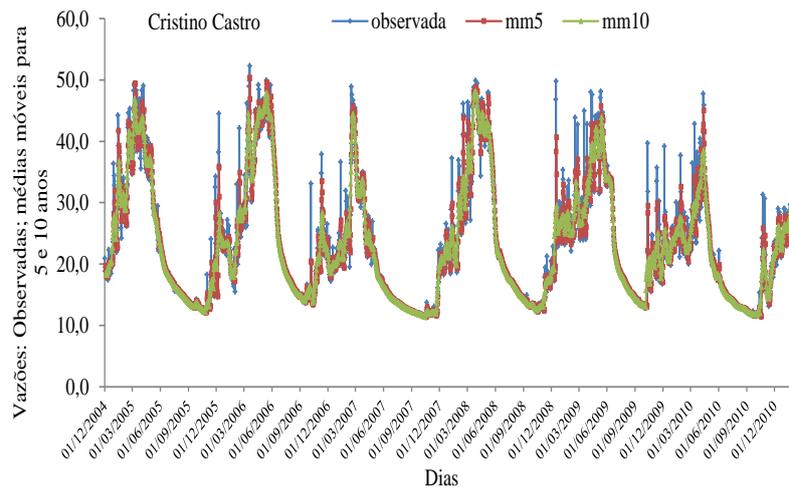


Figura 2. Vazões ( $m^3s^{-1}$ ) médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Cristino Castro.

Fonte: Medeiros (2014).

Em Barreiras do Piauí nota-se que o comportamento das vazões estimadas (suavizadas por médias-móveis para 5 e 10 dias, seguem a variabilidade das vazões observadas com pequenas defasagens nos seus picos devido à influência das chuvas local. Nota-se ainda que as defasagens são mais pronunciadas para a série com médias-móveis de 10 dias do que para as de 5 dias. Figura 3.

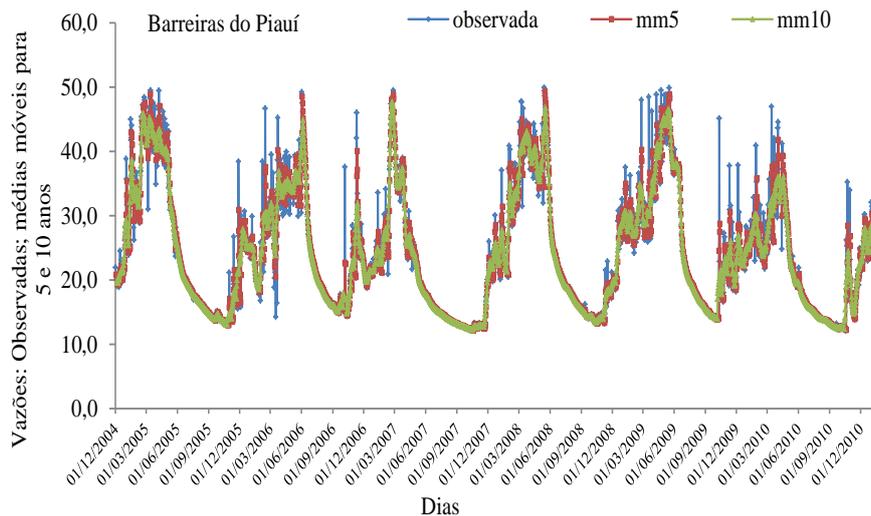


Figura 3. Vazões ( $m^3s^{-1}$ ) médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Barreiras do Piauí.

Fonte: Medeiros (2014).

No município de Manoel Emídio as simulações do modelo IPH II foram similares às simulações do município de Barreiras do Piauí. O comportamento das vazões médias diárias suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias (Figura 4). A análise se repete para o município de Santa Filomena (Figura 5).

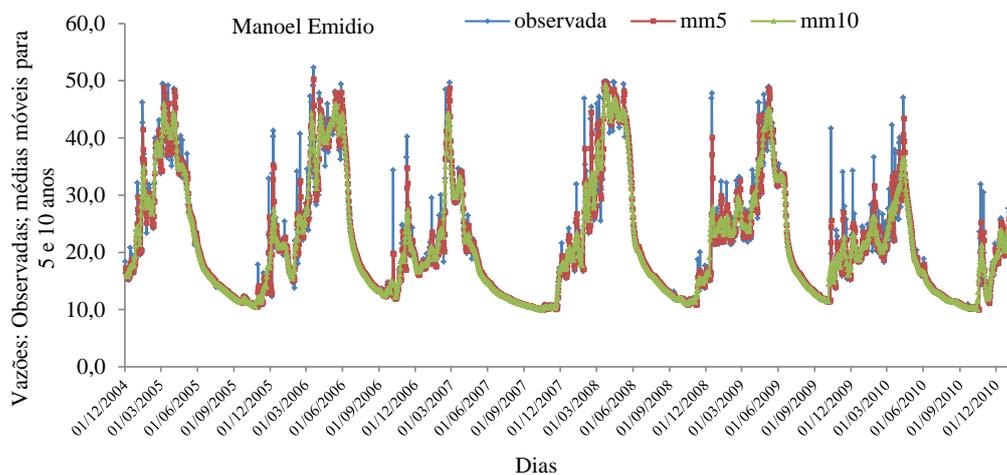


Figura 4. Vazões ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Manoel Emídio.  
Fonte: Medeiros (2014).

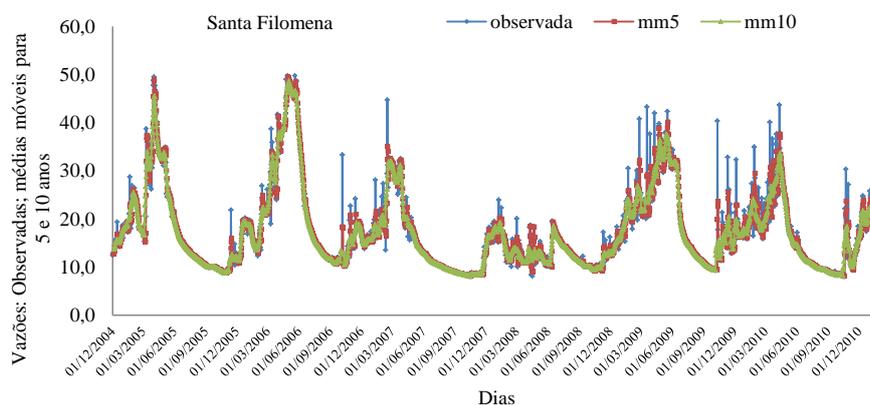


Figura 5. Vazões ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) médias diárias observadas e estimadas pelo IPH II (suavizadas por médias-móveis de 5 e 10 dias) para o município de Santa Filomena.  
Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

O modelo IPH II cumpriu a tarefa de simular as vazões médias diárias, mas em três casos não foi muito eficiente para representar os picos (máximos e mínimos) das vazões. Sem perda de generalidade, essa modelagem pode ser utilizada em bacias com as características similares às aquelas apresentadas pela BHRUP, principalmente se não houver exigências na adequabilidade de valores extremos.

Adicionalmente foi efetuada uma simulação da BHRUP com ocupação do solo em 100% de pastagem. Nesse caso, haveria aumento na umidade do solo, em consequência haveria aumento dos picos de cheias com inundações mais severas e frequentes.

Em média o coeficiente de correlação entre vazões calculada e observada foi da ordem de 0,95 e o erro quadrático médio 8,2.

## ESTUDO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO

Raimundo Mainar de Medeiros  
 Manoel Francisco Gomes Filho  
 José Ivaldo Barbosa de Brito

**Introdução**

Nas civilizações humanas, o vento inspirou a mitologia, influenciado os eventos de história, ampliou o leque de transporte e guerra, e forneceu com uma fonte de energia: energia eólica para o trabalho mecânico, na electricidade, e no lazer. O vento tem poderes com as viagens de veleiros através dos oceanos da Terra. O Balão de ar quente usa o vento para fazer viagens curtas, e o vôo motorizado usa-o para aumentar a elevação e reduzir o consumo de combustível. As áreas de vento de cisalhamento causada por vários fenômenos do clima podem levar a situações perigosas para as aeronaves. Quando os ventos se tornaram fortes, as árvores e estruturas feitas pelo homem são danificadas ou destruídas.

Os ventos podem moldar acidentes geográficos, através de uma variedade de processos eólicos tais como a formação de solos férteis, como *loess* e pela erosão. A poeira de grandes desertos podem ser movidos a grandes distâncias de sua região de origem pelo vento predominante; os ventos que são acelerados por topografia acidentada e associados a surtos de poeira foram atribuídos nomes regionais em várias partes do mundo devido aos seus efeitos significativos sobre essas regiões. Também afeta a propagação do fogo. Eles dispersam sementes de várias plantas, permitindo a sobrevivência e dispersão dessas espécies de plantas, bem como populações de insetos voando. Quando combinada com temperaturas baixas, o vento tem um impacto negativo sobre o gado; afeta a produção de alimento dos animais, bem como a sua caça e estratégias defensivas.

Os ventos são de fundamental importância na dinâmica terrestre, visto que eles são modeladores do relevo, transportam umidade dos oceanos para as porções continentais, amenizam o calor das zonas de baixa pressão atmosférica, entre outros fatores

A direção do vento é o ponto cardinal de onde vem o vento. A partir da rosa dos ventos obtêm-se a direção do vento predominante para determinado local e período.

A direção predominante do vento é a direção que ocorre em maior frequência. É decorrente da posição do local em relação aos centros de pressão atmosférica, sofrendo influência de obstáculos naturais junto ao solo. O relevo tem um efeito muito pronunciado, podendo definir a direção predominante do vento.

A direção e a velocidade do vento são consequência do gradiente de pressão, podendo eles ser modificados pela rotação da terra, pela força centrífuga e pelo atrito com a superfície.

Através da determinação da direção predominante do vento em uma região e/ou local, torna-se fácil, elaborar, as curvas de níveis para um terreno, o tipo de barreira do vento, o controle de queimadas e incêndios, a localização de casas, prédios, granjas, pomares, hortas, tanques para a criação de peixes, armazéns e barragens, auxiliando deste modo com maiores benefícios para a determinação de ventilação e controle de pragas, doenças, bactérias, moléstias, vírus e fungos.

Em conformidade com Ayoade (1998), a radiação solar provoca um aquecimento diferencial de porções de ar, criando os gradientes de pressão, geradores dos ventos que ocorrem tanto em escala global (latitudes e ciclos dia-noite) quanto local (mar-terra, vale-montanha). A intensidade e a direção dos ventos são determinadas pela variação espacial e temporal do balanço

de energia na superfície terrestre, que causa variações no campo de pressão atmosférica, gerando os ventos. A direção dos ventos é resultante da composição das forças atuantes (gradiente de pressão, atrito, força de Coriolis), mas o relevo predominante na região também interfere na direção, próximo à superfície (Pereira et al 2002).

A direção do vento é utilizada na fruticultura para melhorar as qualidades e a fortificações das árvores e dos frutos, onde é utilizados um melhor dimensionamento dos tamanhos das árvores.

O conhecimento da direção predominante dos ventos, velocidades médias e possíveis fenômenos eólicos cíclicos que ocorrem num local, fornecem informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, orientações na construção de estábulos, distribuição das diferentes culturas no campo, no posicionamento e dimensionamento das torres para utilização desta fonte de energia natural (Martins, 1993). Essa última, considerada como um fator favorável para conversão do vento em energia. Fatores desfavoráveis são ventos excessivos e contínuos, no qual representam eventualmente, problemas nas áreas rurais, sendo necessária a proteção das culturas, principalmente com a utilização de quebra-ventos, sejam eles naturais ou artificiais, para que as atividades agrícolas sejam viáveis.

A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir e nunca para onde o vento estaria indo, por mais óbvio que isso possa parecer (Varejão-Silva, 2005). Conforme Vendramini (1986), a direção do vento é bastante variável no tempo e no espaço, em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano.

Os ventos existem devido ao aquecimento diferencial entre as superfícies oceânicas e continentais. Este processo físico faz com que haja uma variação de pressão. Esta variação de pressão provocada pelo aquecimento diferencial dá origem aos ventos e geram os gradientes de pressão. Quando mais próximos estiverem as isotacas (linhas de mesma magnitude de vento), maior será o gradiente de pressão, sendo assim maior a magnitude do vento. Os gradientes de pressão se desenvolvem tanto em escala global quanto local. O vento é uma variável importante neste contexto, já que ele desempenha um papel decisivo na distribuição de calor e umidade na atmosfera (Barreto et al., 2002).

A variabilidade do vento à superfície é resultante dos fenômenos de escalas temporal e espacial. A escala de tempo diária está diretamente relacionada com sistemas de circulação em escala local. Já as circulações globais consistem do transporte de massas de ar pelo operador matemático da advecção do vento. Ventos globais estão mais associados com as correntes de jato, circulação de Hadley-Walker dentre outras. Os Ventos locais estão envolvidos com as brisas (marítima e terrestre) e aos ventos anabáticos e catabáticos. Este último está mais relacionado, com a topografia da região e sua vegetação, bem como seus múltiplos usos, além da distribuição e absorção diferenciadas da radiação solar que incide à superfície.

A movimentação do ar na atmosfera pode ser monitorada por estações climatológicas, preferencialmente de superfície automática, que geram dados a partir de equipamentos como o anemômetro e cata-vento do tipo Wild. Com esses dados climatológicos, torna-se possível identificar a velocidade e a direção dos ventos. Outro método de análise é a observação de aerofotografias de satélites, feitas a partir de sensores que registram a quantidade de vapor d'água disponível na atmosfera.

Dos elementos meteorológicos que interferem nas diferentes atividades humanas, a direção e a velocidade do vento certamente é o que menos foi estudado até o momento. As determinações da direção predominante do vento bem como sua variabilidade são importantes na geração de energia eólica, na construção de quebra-ventos e para estudos de melhoria da qualidade do ar, nas construções de aeródromo e grandes projetos agrícolas visando minimizar os acamamentos das plantas, contribuindo para redução ou aumento da evaporação e evapotranspiração. Deste modo Medeiros et al. (2009) e Medeiros (2010), contabilizaram a direção do

vento predominante para o município de Teresina e realizou um contador eletrônico para calcular as frequências de entradas das direções dos ventos para as estações meteorológicas automáticas dos Estados do Piauí, levando em consideração a sua variabilidade entre a série histórica e os períodos chuvosos e secos.

Quanto à climatologia da área situada nos trópicos do globo terrestre, a quantidade e distribuição espacial e temporal da precipitação apresentam-se com uma característica peculiar dos ventos de uma região, através de sua direção e intensidade. Previsões Meteorológicas utilizam o campo de linhas de corrente e magnitude do vento para previsões de precipitações na área de interesse e para visualizar também o deslocamento das nuvens.

A climatologia dos ventos determina o tempo e o clima de uma região, através das circulações termicamente induzidas com os fenômenos de grande escala. A direção do vento é variável no tempo e no espaço, em virtude da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano (Vendramini, 1986).

Dependendo da direção do vento, tem uma previsão na precipitação na região, que pode ocasionar ou não, um período de veranico, conforme os mecanismos que atuam na região.

Medeiros et al (2013) analisaram as das direções predominantes do vento mensais para a estação meteorológica de Lagoa do Portinho localizada entre os municípios de Luis Correia e Parnaíba com coordenadas geográficas (latitude 02°55,81'S, longitude 41°40,61'W e altitude de 12,0 metros). A direção predominante do vento foi descrita a partir da frequência de ocorrência do vento em determinada direção, esta mesma metodologia foi empregada por GALVANI et al, (1999). A série de dados compreende os anos de dezembro de 2008 a março de 2010. Em um ano e um mês de observação as direções predominantes com maiores valores de frequências de entrada foram: Leste com uma frequência de entrada de 2620 vezes, Sudeste com 549 vezes; Noroeste com 438 vezes e a direção Sul com 103 entradas, em relação às outras direções ocorre com uma menor intensidade quando comparada as citadas.

Medeiros et al (2013) realizaram análise da variabilidade espacial das direções predominantes e as tendências médias dos ventos para os períodos secos e chuvosos. Neste estudo foram analisados dados da estação meteorológica automática localizada no município de Gilbués – Piauí. Esta pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia, da qual foram utilizados os dados horários para o período de 16 de maio de 2009 a novembro de 2010. A metodologia utilizada para o cálculo das direções predominantes do vento foi descrita a partir da frequência de ocorrência em determinada direção. Em dezenove meses de observação horária as direções predominantes com maiores valores de frequências de entrada, em termos de ocorrência, foram: E: 3185, ENE: 1664, ESE: 999,0 e as direções SE e NO com: 463,0 e 442,0, respectivamente. No período seco as frequências de entrada das direções predominantes foram: Este: 189,0; ENE: 172, NE: 87, W: 75 e ESSE: 59, com ocorrências consecutivas no período chuvoso. As frequências de entrada dos ventos predominantes foram E: 2897, ENE: 1462, ESSE: 892 e SE: 421 e NE: 363.

Portanto este estudo tem como objetivo descrever o comportamento da direção predominante do vento sobre a bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto–Piauí, a partir de dados mensais de frequências da direção do vento, além de estabelecer as direções predominantes nos períodos secos e chuvosos.

## **Material e métodos**

A bacia do rio Uruçuí Preto é constituída por 25 municípios e ocupa uma área de 65.693 km<sup>2</sup> correspondendo a 39,7% da Macrorregião de Desenvolvimento Cerrados e 19,8% da Bacia do Parnaíba. Para a elaboração deste trabalho utilizou-se dos dados de frequências das entradas das direções predominantes do vento para os 25 municípios que compõem a bacia hidrográfica, as direções predominantes do vento neste estudo foram estimados levando em consideração o relevo. As direções predominantes do vento foram contabilizadas para dias e gerou-

se uma única soma por direções predominantes mensais nas seguintes direções N; S; E; O; NE; SE; NW; SW, as quais foram descritas e adaptadas a partir da metodologia utilizada por Galvani et al. (1999) calculado pela equação.

$$f(x) = n/N \times 100$$

Onde:

$f(x)$  = frequência de ocorrência do vento em determinada direção (x);

n = número de ocorrências de uma determinada direção;

N = número total de observações.

Para efeito de cálculo da percentagem de direção predominante foram consideradas as observações de calmaria e aquelas sem registro, visto que as mesmas influenciam no resultado final. As observações sem registro não foram incluídas nas contagens e as de calmaria neste período foram demarcadas como direção norte e foram incluídas nas contagens. Afim de simplicidade na hora de fazer as observações dos dados obtidos utilizou-se das direções padrões da rosa-dos-ventos que são trabalhadas, coletadas ou registradas nas estações meteorológicas sinóticas, ou climatológicas operantes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), N; S; E; W; NE; SE; NW; SW e C. Após os trabalhos de coleta foram realizados as análises de frequências médias de cada direção, para cada mês do período estudado.

## Resultados e discussão

Os resultados indicam que para os 25 municípios que compõem a área estudada, que a direção nordeste-sudeste é a de maior frequência (Figura 1a), seguidamente das posições este-sudeste e nordeste, como as direções predominantes de segunda e terceira predominâncias

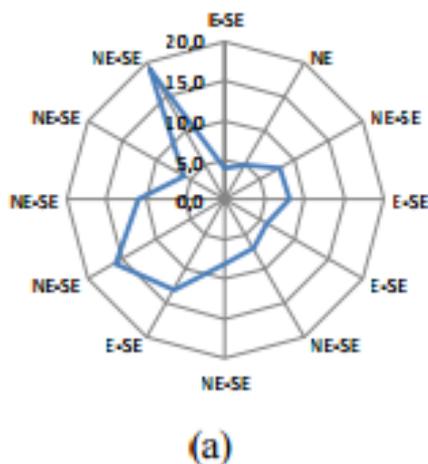
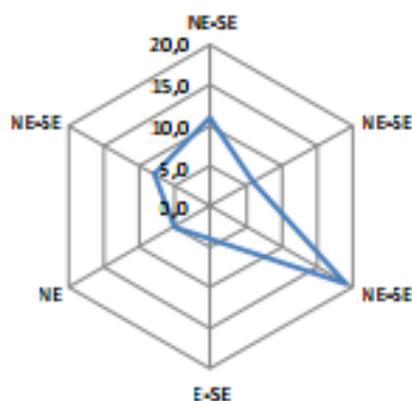


Figura 1a. Direção média dos ventos predominante mensal e anual.

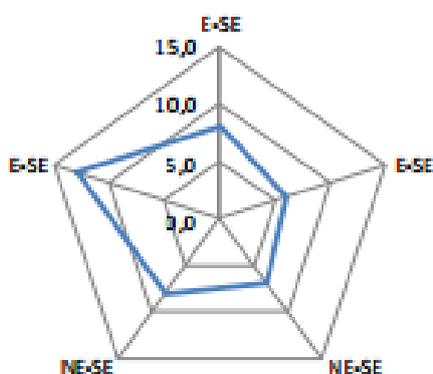
No período chuvoso, Figura 1b, a maior ocorrência de frequência de entrada é na posição nordeste-sudeste com 19 vezes, a segunda posição é na direção de nordeste com 5,0, as frequências de entrada e a direção este-sudeste com quatro posições de entrada referente aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente.



(b)

Figura 1b. Direção média dos ventos predominante mensal e anual para o período chuvoso.

O período seco, Figura 1c tem, como principal direção predominante do vento, a posição nordeste-sudeste com dezesseis frequências de entrada durante o mês de setembro; nos meses de junho e julho as predominâncias do vento se restringem às direções nordeste-sudeste com taxa de frequência menor; nos meses de maio a agosto predominam as direções de este-sudeste com ocorrência de entrada de frequência de seis a treze vezes, consecutivamente.

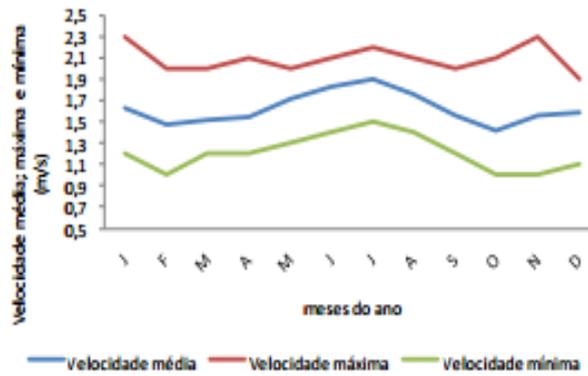


(c)

Figura 1c. Direção média dos ventos predominante mensal e anual para o período seco

A velocidade média do vento flui entre 1,4 a 1,9  $\text{ms}^{-1}$ , com valor anual de 1,6  $\text{ms}^{-1}$ . As velocidades máximas flutuam entre 1,9 a 2,3  $\text{ms}^{-1}$  e sua velocidade anual é de 2,0  $\text{ms}^{-1}$ . A oscilação da velocidade mínima do vento ocorre na faixa de 1,0 a 1,5  $\text{ms}^{-1}$  e sua velocidade anual é de 1,5  $\text{ms}^{-1}$ , conforme se observa na Figura 1d.

De acordo com Volpe et al (2001), a ação de ventos fortes (14,5 a 17  $\text{ms}^{-1}$ ) causa nas culturas de soja e milho redução de stand, acamamento, com perda de área fotossintética e com consequente perdas na produtividade.



(d)

Figura 1d representação dos valores das velocidades médias, máxima e mínima mensais dos ventos da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto–Piauí.

A utilização adequada de quebra-ventos na área estudada poderia diminuir a incidência de ventos prejudiciais às culturas do arroz, milho, banana, soja e sorgo, que são as mais prejudicadas pela ação dos ventos, reduzindo deste modo a queda da floração e auxiliando em melhores formações de grão.

Segundo Volpe e Schöffel (2001) os prejuízos provocados anualmente pela ação do vento sobre os bananais são maiores do que aqueles provocados pela sigatoka amarela não controlada.

Com relação à diferença entre ventos diurnos e noturnos, as intensidades aumentam de valor no decorrer do dia, desde o nascer do sol, até por volta do fim da tarde (15h), ocorrendo redução no período noturno, semelhante ao observado por PARKER et al. (2004) e DAS et al. (1998).

Para as estações dos anos, tem-se se destacado a primavera com as maiores velocidades diurnas e redução no período noturno, e o outono com as menores velocidades (diurnas e noturnas), dados semelhantes aos observados por Silva et al (1997).

Na tabela 1 tem-se os aspectos favoráveis e desfavoráveis quando a intensidade do vento e sua direção predominante.

Tabela 1. Aspectos favoráveis, quando moderados, e desfavoráveis, quando intensos.

Efeitos Favoráveis	Efeitos Desfavoráveis
Redistribuição de calor	Deformação paisagem/plantas
Dispersão de gases e poluentes	Eliminação de insetos poliniz
Suprimento de CO <sub>2</sub> p/ FS	Desconforto animal (remoção excessiva de calor)
Transpiração	Danos mecânicos nas plantas
Dispersão de sementes, polén	Aumento da transpiração
	Fechamento dos estômatos, reduzindo a FS
	Redução da área foliar

A direção predominante faz as deformações e provocam danos as plantas, elimina ou transportam os insetos, reduzem a área foliar e os fechamentos dos estômatos.

## Conclusões

As frequências de entradas das direções dos ventos predominantes são variáveis no tempo e no espaço em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano.

As direções e as velocidades dos ventos são as responsáveis pelos transportes de poeiras, fumaça, grão de terras além de provocar o ressecamento do solo e provocar erosões, acamamento de plantas, difusão de pragas e doenças, contribui para um melhor índice de evaporação e evapotranspiração, aumenta as intensidades das chamas em focos de queimadas e incêndios, reduz a sensação térmica.

Tem-se subsídios para planejar ações futuras, nos projetos de recuperação de áreas degradadas e de desenvolvimento urbano, tanto como auxílio nos projetos de geração de energias limpas e renováveis (energia eólica), em grandes projetos agrícolas minimizando as chances de ocorrerem acamamento através das barreiras de ventos que podem ser implantadas, além da contribuição nos planejamento das cidades e dos parques industriais e de lazer.

A direção sudeste-nordeste é a principal predominância do vento na bacia hidrográfica em estudo composta de vinte e cinco municípios, para os períodos secos e chuvosos, tem-se a predominância do vento na posição nordeste-sudeste com ocorrências de entrada de frequência de dezesseis e dezenove vezes consecutivas.

A influência da penetração da frentes frias e das zona de Convergência do Atlântico Sul na área da BHRUP promove mudanças na direção e velocidade dos ventos, proporcionando no caso das frentes frias, aumento na sua velocidade.

Em anos de El nino, ocorrem variações nas direções e intensidades dos ventos leste e nordeste, que influenciaram negativamente para as precipitações da área de estudo.

# OSCILAÇÕES INTERMUNICIPAIS DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

Raimundo Mainar de Medeiros  
José Ivaldo Barbosa de Brito  
Manoel Francisco Gomes Filho

## Introdução

As informações das condições climáticas de uma determinada região são necessárias para que se possam instituir estratégias, que visem o manejo mais adequado dos recursos naturais, planejando dessa forma, a busca por um desenvolvimento sustentável e implementação das práticas agrícolas viáveis e seguras para o meio ambiente e a produtividade agropecuária do Estado da Paraíba.

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima, do mercado e da política agrária, torna-se instável e de alto risco, devendo ser bem planejada para garantir o seu sucesso. Entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo esta variável responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção (Ortolani e Camargo, 1987).

Sabe-se que a época de plantio de determinadas culturas é dependente da ocorrência da chuva, temperatura, umidade do ar, insolação entre outras variáveis meteorológicas e, também, que estas épocas variam de uma região para outra. Muitos estudos já foram realizados utilizando procedimentos clássicos da estatística no sentido de analisar o comportamento dessas variáveis que exercem influência sobre todas as fases do crescimento e desenvolvimento das culturas da região (Mendonça, 2008; Silva et al., 2003).

Medeiros et al (2015) mostraram que as variações climáticas de uma microrregião ou região são determinantes na escolha das atividades agrícolas desenvolvidas e do tipo de manejo a ser estabelecido. A capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), fator determinante no desenvolvimento vegetal, está diretamente relacionada à precipitação e à CAD. Alcançar a classificação climática da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI com diferentes CAD's, decorrentes da variabilidade das classes de solos existentes. Realizou-se a classificação climática, a partir do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), para valores de CAD estimados em 150, 125, 100 e 75 mm. Os resultados demonstraram que dois tipos climáticos conforme a classificação de Köppen ocorre na BHRUP, o Aw, tropical quente e úmido, com chuvas no verão e seca no inverno; BSh, semiárido quente, com chuvas de verão e inverno seco; A reposição de água no solo para sua máxima capacidade de armazenamento independe da CAD; para condições climáticas na área da BHRUP com CAD maior e menor não proporcionam perdas de água, e nem aperfeiçoa seu aproveitamento pelas culturas; as CAD's não influenciam decisivamente nas condições hídricas ao longo do ano; a capacidade de armazenamento de água do solo não interfere na Classificação Climática

Variáveis importantes que podem condicionar as safras agrícolas são aquelas obtidas por meio do Balanço hídrico, que tem fundamental importância em diversos estudos de uma região, ou seja, na determinação de locais favoráveis a determinada tipo de cultura, classificação climática, etc. Diversos autores (Alfonsi et al., 1990; Pereira, 2002; Varejão-Silva, 2005) definem balanço hídrico como sendo a contabilidade hídrica do solo, ou seja, o cômputo de todos os ganhos e perdas de água, juntamente com o seu armazenamento, que se verificam no solo ou bacia considerada. No balanço hídrico têm-se integrantes como: a precipitação e a irrigação, que são os grandes fornecedores de água no solo, o deflúvio superficial, à quantidade de água que ficou armazenada neste mesmo solo, a drenagem profunda, e por fim, a ação simultânea da

evaporação e da transpiração das plantas (considerando sempre esse solo vegetado) que é denominada evapotranspiração, onde a equação composta por essas variáveis é considerada de modo que todos somados tenham valor zero, contribuindo para o raciocínio do balanço hídrico.

A produção depende essencialmente do balanço de umidade do solo, que é dependente da precipitação, temperatura, evaporação, Evapotranspiração, insolação, etc. Portanto, o mapeamento de variáveis que compõem o balanço hídrico é fundamental para o planejamento de técnicas do uso da terra e para entender, explicar e prever o crescimento e o desenvolvimento dos recursos naturais, com a finalidade de promover a sua utilização racional. De acordo com Camargo (1971) apud Horikoshi e Fisch (2007), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação que aumenta a umidade do solo e a evapotranspiração que diminui a umidade do solo.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas ao longo do tempo utilizando balanços hídricos, variando de acordo com os diversos objetivos como exemplo nos trabalhos realizados por Zepka (2002), Santana et al. (2004), Teixeira e Silva (1999) e Horikoshi e Fisch (2007).

Medeiros et al. (2014) demonstrar a variação espacial das variáveis meteorológicas, Deficiência Hídrica (DEF), Excedente hídrico (EXC), Índices de Aridez (Ia), Índices de Umidade (Iu) e Índices Hídricos (Ih) em função da capacidade de água disponível (CADs) nos níveis de 75, 100, 125 e 150 mm obtidas através do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1948, 1953) no Estado do Piauí, Brasil. Através dessa análise foi verificado que ocorreram pequenas oscilações nestas variáveis em função das CADs estudadas, comprovados pela variabilidade espaço temporal dos índices pluviométrico juntamente com a alta oscilação da evapotranspiração potencial no Estado do Piauí.

As variáveis obtidas por meio do Balanço hídrico tem fundamental importância em diversos estudos de uma região, ou seja, na determinação de locais favoráveis a determinada tipo de cultura, classificação climática, etc. Balanço hídrico é a contabilidade hídrica do solo, ou seja, o cômputo de todos os ganhos e perdas de água, juntamente com o seu armazenamento, que se verificam no solo ou bacia considerada (Alfonsi et al., 1990; Pereira, 2002; Varejão-Silva, 2005). No balanço hídrico têm-se integrantes como: a precipitação e a irrigação, que são os grandes fornecedores de água no solo, o deflúvio superficial, à quantidade de água que ficou armazenada neste mesmo solo, a drenagem profunda, e por fim, a ação simultânea da evaporação e da transpiração das plantas (considerando sempre esse solo vegetado).

O termo evapotranspiração de referencia (ET<sub>o</sub>) foi definido por Thornthwaite (1948) como a perda de água de uma extensa superfície vegetada, de porte rasteiro, em fase de desenvolvimento ativo e sem limitação hídrica. De acordo com Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas.

Evapotranspiração terrestre é um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico, afetando o equilíbrio de água na superfície da Terra. É também uma das variáveis meteorológicas que é muito aplicada à tomada de decisão em hidrologia, agroecologia, irrigação e outras áreas afins (Fu et al., 2009; Roderick et al., 2009).

Outra variável meteorológica importante utilizada pelo balanço hídrico é a evapotranspiração, empregada para explicar a transferência de vapor da água para a atmosfera proveniente de superfícies com vegetação (Varejão-Silva, 2005). Trabalhos sobre evapotranspiração podem ser encontrados nas suas diversas finalidades (Henrique, 2006; Mendonça, 2008; Valiatl et al., 2003; Gomes et al., 2005). Já os índices climáticos de: aridez (Ia), de umidade (Iu) e hídrico (Ih) têm como um dos propósitos a caracterização climática de um local considerado. Esses índices climáticos representam parte dessa caracterização de uma determinada região, obtidos por meio de variáveis do balanço hídrico e da evapotranspiração potencial.

A área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI tem sua economia dependente de uma agricultura bastante diversificada que é fortemente influenciada por condições do tempo,

durante o período do cultivo, principalmente das variáveis que compõem o balanço hídrico. Sob estas considerações, este artigo tem como objetivo estudar variáveis meteorológicas em função do comportamento da capacidade de água disponível (CADs) nos níveis de 75; 100; 125 e 150 mm, visando identificar possíveis alterações intermunicipais na bacia do rio Uruçuí Preto, podendo servir atualmente como orientação a agricultores e pesquisadores, Medeiros, (2007).

## Materiais e métodos

Para a análise do comportamento climático intermunicipal da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto foi utilizado dados de precipitação adquiridos através da Superintendência do desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER-PI) para o período de 1960 a 1990, a estimativa da temperatura do ar compreende o período de 1950 a 2012 com base em 49 postos pluviométricos localizados na área de estudo (Tabela 1). O programa computacional do balanço hídrico em planilhas eletrônicas foi desenvolvido por Medeiros (2014).

Utilizou-se do software denominado “Estima\_T” (Cavalcanti et al., 2006), desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande para estimativa das séries de temperatura média mensal do ar para os 49 postos meteorológicos devido à ausência de dados em alguns postos na bacia. Medeiros et al., 1999 utilizou-se do comportamento médio anual da temperatura do ar para alguns municípios do Estado do Piauí.

## Cálculo da Evapotranspiração Potencial

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) utilizada neste estudo requer apenas dados de temperatura média mensal do ar e da insolação máxima. Expresso em (mm/mês) define-se a evapotranspiração potencial da seguinte forma, segundo Thornthwaite e Mather (1948; 1953) apud Varejão-Silva (2005).

$$(ETP)_j = F_j \cdot E_j$$

onde  $E_j$  representa a evapotranspiração potencial (mm/dia) não ajustada resumida da seguinte forma:

$$E_j = 0,533 \left( \frac{10 \cdot \bar{T}_j}{I} \right)^a$$

em que representa a temperatura média mensal do ar do mês ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I$  é o índice anual de calor definido através de:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

sendo, o índice térmico de calor no mês dado por:

$$i_j = \left( \frac{\bar{T}_j}{5} \right)^{1,514}$$

por fim, o expoente “a” da equação (2) é uma função cúbica desse índice anual de calor, expresso da seguinte forma:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49$$

Fator de Correção  $F_j$

O fator de correção da equação (1) é definido em função do número de dias do mês  $D_j$  (em janeiro,  $D_j = 31$ ; em fevereiro  $D_j = 28$ ; etc.) e da insolação máxima do dia 15 do mês  $J$  ( $N_j$ ), considerado representativo da média desse mês, definido por:

$$F_j = \frac{D_j \cdot N_j}{12}$$

para o cálculo da insolação máxima do dia 15, utilizou-se a seguinte expressão:

$$N_j = \left(\frac{2}{15}\right) [\text{arc. cos}(-tg\phi \cdot tg\delta)]$$

onde:  $\phi$  Latitude do local;  $\delta$  Declinação do Sol em graus, para o dia considerado; definido por:

$$\delta = 23,45^\circ \text{sen}[360(284 + d)/365]$$

Em que, “d” é o número de ordem, no ano do dia considerado (dia Juliano). A estimativa da evapotranspiração potencial por meio da equação (1) só é válida para valor de temperatura média do ar do mês inferior a  $26,5^\circ\text{C}$ . Quando a temperatura média desse mês for igual ou superior a  $26,5^\circ\text{C}$ , Thornthwaite e Mather (1948; 1953) assumiu que  $E_j$  independe do índice anual de calor e utiliza-se para sua estimativa uma tabela apropriada.

### **Cálculo do Balanço Hídrico**

O balanço hídrico é um método de se calcular a disponibilidade de água no solo para as comunidades vegetais. Contabiliza a precipitação perante evapotranspiração potencial, levando em consideração a capacidade de campo de armazenamento de água no solo.

A disponibilidade de água no solo é um fator ecológico mais correlacionado com a distribuição geográfica das espécies vegetais do que a precipitação.

O solo é um reservatório natural de água para a vegetação. A entrada de água é representada pela precipitação e irrigação enquanto a saída é a evapotranspiração. Tem uma capacidade de armazenamento de água, que uma vez satisfeita, permite a percolação de água excedente para o lençol freático.

Entre estes índices se destacam os índices de aridez, umidade e hídrico, obtidos no BHC com a utilização de dados calculados de evapotranspiração potencial, precipitação, excesso de água e deficiência de água.

O modelo utilizado para determinar o balanço hídrico foi o proposto por Thornthwaite e Mather (1948; 1953) apud Varejão-Silva (2005). O balanço hídrico foi realizado apenas com dados de precipitação, temperatura média mensal do ar e um valor correspondente à capacidade de água disponível (CAD), ressaltando que para elaboração do BHC na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, foi utilizado o valor da CAD de 100mm. A estrutura do cálculo utilizada neste trabalho do balanço hídrico foi desenvolvida em planilhas eletrônicas por Meireis (2014).

### **Índices Climáticos**

Uma das finalidades dos índices climáticos: de aridez, de umidade e hídrico é a caracterização climática de uma região. Neste estudo, utilizou-se das CADs de 75; 100; 125 e 150 mm para realizar a classificação climática.

O Índice de Aridez caracteriza-se por indicar a deficiência hídrica expressa em percentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). É definido em função da deficiência e evapotranspiração potencial (ambas anuais), expresso da seguinte forma:

$$I_a = 100 \cdot \frac{DEF}{ETP}$$

O índice de umidade representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, segundo a expressão:

$$I_u = 100 \cdot \frac{EXC}{ETP}$$

Geralmente tem-se durante o ano estações de excesso e falta da água. Por isso, define-se o índice hídrico da seguinte maneira:

$$I_h = I_u - 0,6 \cdot I_a$$

## Resultados e discussão

A tabela 1 tem-se os valores dos índices de umidade, aridez e hídricos para as CAD's de 75, 100, 125 e 150 mm, e os valores das deficiências e excedentes hídrico referentes as CAD's estudadas.

Tabela 1. Localização dos postos pluviométricos e área de alocação, seguidos de suas coordenadas geográficas e dos índices de Umidade, Aridez e Hídrico, além de suas Deficiências e Excedente hídrico, referentes às CADs de 75,0; 100,0; 125,0 e 150,0 mm

Ordem	Posto	Município	Lat °	Long °	Altitude metros	cad75		cad75		cad100		cad100		cad100	
						Índice Umidade	Índice Aridez	Índice hídrico	Deficiência hídrica	Excedente hídrico	Índice Umidade	Índice Aridez	Índice hídrico	Deficiência hídrica	Excedente hídrico
1	Alvorada Gurgueia	Alvorada Gurgueia	08 25	43 46	281	51,52	0,52	-0,30	859,39	13,84	50,69	0,51	-0,30	845,55	0,00
2	Alto Parnaíba - MA	Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220	58,53	0,59	-0,35	1356,11	0,00	57,45	0,57	-0,34	1331,11	0,00
3	Avelino Lopes	Avelino Lopes	10 08	43 57	400	49,65	0,50	-0,30	737,10	0,00	49,65	0,50	-0,30	737,10	0,00
4	Fazenda Vereda da Mata	Avelino Lopes	10 22	43 58	500	41,21	0,41	-0,18	628,63	101,54	39,57	0,40	-0,19	603,71	76,63
5	Fazenda Viração	Avelino Lopes	09 53	43 54	430	46,69	0,47	-0,27	712,83	9,39	46,08	0,46	-0,28	703,43	0,00
6	Barreira do Piauí	Barreira do Piauí	09 57	45 29	500	42,89	0,43	-0,14	621,65	170,30	41,17	0,41	-0,15	596,74	145,38
7	Bom Jesus	Bom Jesus	09 04	44 21	220	45,42	0,45	-0,24	756,05	53,53	43,92	0,44	-0,25	731,07	28,56
8	Fazenda Conceição	Bom Jesus	08 46	44 24	390	45,30	0,45	-0,25	702,26	26,32	43,69	0,44	-0,26	677,30	1,36
9	Fazenda Barra Verde	Bom Jesus	09 18	44 31	260	48,75	0,49	-0,29	782,55	0,00	48,75	0,49	-0,29	782,55	0,00
10	Colônia do Gurgueia	Colônia do Gurgueia	08 10	43 48	200	63,02	0,63	-0,37	1114,03	6,64	62,64	0,63	-0,38	1107,38	0,00
11	Corrente	Corrente	10 26	45 09	434	40,35	0,40	-0,08	580,63	238,51	38,62	0,39	-0,08	555,76	213,64
12	Fazenda Barra	Corrente	10 03	45 04	490	49,95	0,50	-0,30	784,83	0,00	49,95	0,50	-0,30	784,83	0,00
13	Fazenda Caxingó	Corrente	10 31	45 13	500	40,84	0,41	-0,16	640,30	130,43	39,25	0,39	-0,17	615,37	105,50
14	Fazenda Jenipapeiro	Corrente	10 39	45 11	510	41,35	0,41	-0,13	630,73	175,80	39,72	0,40	-0,14	605,81	150,88
15	Cristalândia do Piauí	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600	72,00	0,72	-0,43	2632,19	0,00	72,00	0,72	-0,43	2632,19	0,00
16	Cristino Castro	Cristino Castro	08 48	44 13	220	48,51	0,49	-0,27	838,60	38,37	47,07	0,47	-0,27	813,61	13,38
17	Fazenda Lagoa Grande	Cristino Castro	08 33	44 32	320	45,18	0,45	-0,26	702,16	12,00	44,41	0,44	-0,27	690,16	0,00
18	Fazenda Japeganga	Cristino Castro	08 44	43 56	240	41,46	0,41	-0,09	641,60	249,28	39,85	0,40	-0,09	616,68	224,35
19	Fazenda Malhadinha	Cristino Castro	08 26	43 52	180	2,55	0,03	0,25	23,71	250,10	2,06	0,02	0,25	19,11	245,49
20	Curimatá	Curimatá	10 02	44 17	350	46,32	0,46	-0,27	754,41	13,11	45,51	0,46	-0,27	741,30	0,00
21	Fazenda São Francisco	Curimatá	10 28	44 03	600	48,89	0,49	-0,26	887,06	57,45	47,47	0,47	-0,25	857,24	53,32
22	Currais	Currais	09 00	44 24	320	45,76	0,46	-0,23	727,23	66,43	44,19	0,44	-0,24	702,26	41,46
23	Elizeu Martins	Elizeu Martins	08 12	43 23	210	52,64	0,53	-0,32	893,35	0,00	52,64	0,53	-0,32	893,35	0,00
24	Fazenda Puca	Elizeu Martins	08 03	43 39	280	9,06	0,09	-0,05	84,11	0,00	9,05	0,09	-0,05	84,03	0,00
25	Fazenda Chupeiro	Elizeu Martins	08 02	43 28	320	3,01	0,03	0,08	27,93	94,59	2,42	0,02	0,08	22,52	89,18
26	Gilbués	Gilbués	09 50	45 21	500	42,16	0,42	-0,13	572,43	161,37	40,33	0,40	-0,14	547,57	136,51
27	Fazenda Melancia	Gilbués	09 10	45 15	380	41,26	0,41	-0,02	626,32	343,39	39,62	0,40	-0,03	601,40	318,47
28	Fazenda Santa Maria	Gilbués	09 13	45 16	370	39,85	0,40	-0,18	604,93	92,93	38,21	0,38	-0,18	580,03	68,03
29	Fazenda Boqueirão dos	Gilbués	09 45	45 40	580	41,54	0,42	-0,14	625,89	167,29	39,89	0,40	-0,14	600,97	142,37
30	Fazenda Bela Vista	Gilbués	09 42	45 23	520	39,08	0,39	-0,09	565,73	205,40	37,36	0,37	-0,10	540,88	180,55
31	Fazenda Galheiro	Gilbués	10 03	45 22	630	39,25	0,39	-0,07	596,96	245,82	37,61	0,38	-0,08	572,08	220,93
32	Julio Borges	Julio Borges	10 19	44 14	389	42,99	0,43	-0,18	669,70	117,16	41,39	0,41	-0,19	644,76	92,22
33	Manoel Emídio	Manoel Emídio	07 59	43 51	200	52,30	0,52	-0,31	862,83	0,00	52,30	0,52	-0,31	862,83	0,00
34	Monte Alegre do Piauí	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454	41,09	0,41	-0,15	571,61	139,32	39,30	0,39	-0,15	546,75	114,46
35	Fazenda Paus	Monte Alegre do Piauí	09 33	44 41	280	37,07	0,37	0,01	565,50	360,68	35,44	0,35	0,01	540,65	335,83
36	Fazenda Vereda da Glória	Monte Alegre do Piauí	09 45	44 52	290	41,21	0,41	-0,18	628,63	101,54	39,57	0,40	-0,19	603,71	76,63
37	Fazenda Regalo	Monte Alegre do Piauí	09 47	45 02	520	43,81	0,44	-0,21	656,60	86,57	41,88	0,42	-0,19	713,16	78,31
38	Morro Cabeça no Tempo	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479	41,01	0,41	-0,18	575,99	97,25	39,24	0,39	-0,18	551,13	72,38
39	Palmeira do Piauí	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268	52,18	0,52	-0,31	870,94	0,12	52,17	0,52	-0,31	870,82	0,00
40	Parnaguá	Parnaguá	10 13	44 38	316	42,15	0,42	-0,17	615,85	116,68	40,44	0,40	-0,18	590,94	91,77
41	Fazenda Barreiro	Parnaguá	09 59	44 37	310	45,04	0,45	-0,26	677,27	16,14	43,97	0,44	-0,26	661,14	0,00
42	Fazenda Mocambo	Parnaguá	09 56	43 56	300	37,36	0,37	-0,13	576,05	131,74	38,35	0,38	-0,16	586,55	102,96
43	Redenção Gurgueia	Redenção Gurgueia	09 30	44 36	365	49,19	0,49	-0,28	808,11	28,97	47,67	0,48	-0,28	783,12	3,98
44	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400	43,46	0,43	-0,19	647,81	102,47	41,79	0,42	-0,20	622,88	77,54
45	São Gonçalo do Gurgueia	São Gonçalo do Gurgueia	10 01	45 18	440	41,27	0,41	-0,17	583,67	116,80	39,51	0,40	-0,17	558,80	91,93
46	Santa Filomena	Santa Filomena	09 05	45 51	380	40,43	0,40	0,10	634,35	538,02	38,84	0,39	0,09	609,43	513,10
47	Fazenda Cachoeira	Santa Filomena	09 15	45 43	380	34,81	0,35	0,40	545,56	958,85	33,23	0,33	0,40	520,75	934,04
48	Santa Luz	Santa Luz	08 55	44 03	340	48,38	0,48	-0,26	757,69	43,56	46,78	0,47	-0,27	732,71	18,58
49	Sebastião Barros	Sebastião Barros	10 49	44 50	360	38,75	0,39	-0,05	539,68	248,55	36,97	0,37	-0,06	514,87	223,74
	média					42,79	0,43	-0,17	704,07	125,07	41,63	0,42	-0,18	687,92	107,83
	desvio					11,862	0,119	0,153	356,078	166,279	11,932	0,119	0,152	357,768	161,926
	coeficiente de variância					0,2773	0,2773	-0,8981	0,5057	1,3295	0,2866	0,2866	-0,8669	0,5201	1,5017
	máximo valor					72,002	0,720	0,403	2632,19	958,852	72,002	0,720	0,397	2632,185	934,035
	mínimo valor					2,552	0,026	-0,432	23,707	0,000	2,057	0,021	-0,432	19,106	0,000

Continuação

Ordem	Posto	Município	Lat	Long	Altitude metros	cad125	cad125	cad125	cad125	cad125	cad150	cad150	cad150	cad150	cad150
						Índice Umidade	Índice Áridez	Índice hídrico	Deficiência hídrica	Excedente hídrico	Índice Umidade	Índice Áridez	Índice hídrico	Deficiência hídrica	Excedente hídrico
1	Alvorada Gurguéia	Alvorada Gurguéia	08 25	43 46	281	50,69	0,51	-0,30	845,55	0,00	50,69	0,51	-0,30	845,55	0,00
2	Alto Parnaíba - MA	Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220	56,37	0,56	-0,34	1306,11	0,00	55,29	0,55	-0,33	1281,11	0,00
3	Avelino Lopes	Avelino Lopes	10 08	43 57	400	49,65	0,50	-0,30	737,10	0,00	49,65	0,50	-0,30	737,10	0,00
4	Fazenda Vereda da Mata	Avelino Lopes	10 22	43 58	500	52,24	0,52	-0,31	962,92	0,00	51,88	0,52	-0,31	954,59	0,00
5	Fazenda Viração	Avelino Lopes	09 53	43 54	430	46,08	0,46	-0,28	703,43	0,00	46,08	0,46	-0,28	703,43	0,00
6	Barreira do Piauí	Barreira do Piauí	09 57	45 29	500	39,47	0,39	-0,15	572,12	120,76	37,81	0,38	-0,16	548,09	96,73
7	Bom Jesus	Bom Jesus	09 04	44 21	220	42,43	0,42	-0,25	706,21	3,69	42,21	0,42	-0,25	702,51	0,00
8	Fazenda Conceição	Bom Jesus	08 46	44 24	390	43,60	0,44	-0,26	675,94	0,00	43,60	0,44	-0,26	675,94	0,00
9	Fazenda Barra Verde	Bom Jesus	09 18	44 31	260	48,75	0,49	-0,29	782,55	0,00	48,75	0,49	-0,29	782,55	0,00
10	Colônia do Gurguéia	Colônia do Gurguéia	08 10	43 48	200	62,64	0,63	-0,38	1107,38	0,00	62,64	0,63	-0,38	1107,38	0,00
11	Corrente	Corrente	10 26	45 09	434	36,92	0,37	-0,09	531,28	189,16	35,27	0,35	-0,10	507,52	165,40
12	Fazenda Barra	Corrente	10 03	45 04	490	49,95	0,50	-0,30	784,83	0,00	49,95	0,50	-0,30	784,83	0,00
13	Fazenda Caxingó	Corrente	10 31	45 13	500	37,67	0,38	-0,17	590,70	80,83	36,14	0,36	-0,18	566,57	56,69
14	Fazenda Jenipapeiro	Corrente	10 39	45 11	510	38,10	0,38	-0,15	581,17	126,23	36,52	0,37	-0,15	557,09	102,15
15	Cristalândia do Piauí	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600	72,00	0,72	-0,43	2632,19	0,00	72,00	0,72	-0,43	2632,19	0,00
16	Cristino Castro	Cristino Castro	08 48	44 13	220	46,29	0,46	-0,28	800,23	0,00	46,29	0,46	-0,28	800,23	0,00
17	Fazenda Lagoa Grande	Cristino Castro	08 33	44 32	320	44,41	0,44	-0,27	690,16	0,00	44,41	0,44	-0,27	690,16	0,00
18	Fazenda Japéganga	Cristino Castro	08 44	43 56	240	38,25	0,38	-0,10	592,00	199,68	36,69	0,37	-0,11	567,86	175,54
19	Fazenda Malhadinha	Cristino Castro	08 26	43 52	180	38,25	0,38	-0,10	592,00	199,68	36,69	0,37	-0,11	567,86	175,54
20	Curimatá	Curimatá	10 02	44 17	350	45,51	0,46	-0,27	741,30	0,00	45,51	0,46	-0,27	741,30	0,00
21	Fazenda São Francisco	Curimatá	10 28	44 03	600	45,65	0,46	-0,24	817,72	57,50	45,44	0,45	-0,24	817,06	45,41
22	Currais	Currais	09 00	44 24	320	42,63	0,43	-0,25	677,43	16,63	41,58	0,42	-0,25	660,80	0,00
23	Elizeu Martins	Elizeu Martins	08 12	43 23	210	52,64	0,53	-0,32	893,35	0,00	52,64	0,53	-0,32	893,35	0,00
24	Fazenda Puca	Elizeu Martins	08 03	43 39	280	9,05	0,09	-0,05	84,10	0,00	47,23	0,47	-0,28	753,83	0,00
25	Fazenda Chupeiro	Elizeu Martins	08 02	43 28	320	2,03	0,02	0,08	18,84	85,51	34,83	0,35	-0,20	523,83	15,19
26	Gilbués	Gilbués	09 50	45 21	500	38,53	0,39	-0,15	523,12	112,06	36,79	0,37	-0,16	499,42	88,36
27	Fazenda Melancia	Gilbués	09 10	45 15	380	37,99	0,38	-0,03	576,77	293,84	36,41	0,36	-0,04	552,71	269,78
28	Fazenda Santa Maria	Gilbués	09 13	45 16	370	36,59	0,37	-0,19	555,46	43,46	35,02	0,35	-0,20	531,53	19,53
29	Fazenda Boqueirão dos Felipes	Gilbués	09 45	45 40	580	38,25	0,38	-0,15	576,34	117,74	36,66	0,37	-0,16	552,28	93,68
30	Fazenda Bela Vista	Gilbués	09 42	45 23	520	38,98	0,39	-0,13	591,49	161,33	34,04	0,34	-0,11	492,80	132,48
31	Fazenda Galheiro	Gilbués	10 03	45 22	630	36,00	0,36	-0,09	547,53	196,39	34,43	0,34	-0,09	523,66	172,51
32	Julio Borges	Julio Borges	10 19	44 14	389	39,80	0,40	-0,20	620,02	67,48	38,24	0,38	-0,20	595,75	43,20
33	Manoel Emídio	Manoel Emídio	07 59	43 51	200	52,30	0,52	-0,31	862,83	0,00	52,30	0,52	-0,31	862,83	0,00
34	Monte Alegre do Piauí	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454	37,54	0,38	-0,16	522,31	90,01	35,84	0,36	-0,17	498,61	66,32
35	Fazenda Paus	Monte Alegre do Piauí	09 33	44 41	280	33,84	0,34	0,00	516,23	311,41	35,44	0,35	0,01	540,65	335,83
36	Fazenda Vereda da Glória	Monte Alegre do Piauí	09 45	44 52	290	37,96	0,38	-0,19	579,07	51,99	36,38	0,36	-0,20	555,00	27,91
37	Fazenda Regalo	Monte Alegre do Piauí	09 47	45 02	520	40,49	0,40	-0,22	606,96	36,93	38,88	0,39	-0,22	582,74	12,71
38	Morro Cabeça no Tempo	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479	37,50	0,37	-0,19	526,66	47,92	35,81	0,36	-0,20	502,94	24,19
39	Palmeira do Piauí	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268	52,17	0,52	-0,31	870,82	0,00	52,17	0,52	-0,31	870,82	0,00
40	Parnaguá	Parnaguá	10 13	44 38	316	38,76	0,39	-0,19	566,34	67,17	37,11	0,37	-0,19	542,34	43,17
41	Fazenda Barreiro	Parnaguá	09 59	44 37	310	43,97	0,44	-0,26	661,14	0,00	43,97	0,44	-0,26	661,14	0,00
42	Fazenda Mocambo	Parnaguá	09 56	43 56	300	37,35	0,37	-0,17	568,84	84,99	39,79	0,40	-0,19	609,85	67,24
43	Redenção Gurguéia	Redenção Gurguéia	09 30	44 36	365	47,43	0,47	-0,28	779,14	0,00	47,43	0,47	-0,28	779,14	0,00
44	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400	40,13	0,40	-0,21	598,20	52,85	38,51	0,39	-0,21	574,02	28,68
45	São Gonçalo do Gurguéia	São Gonçalo do Gurguéia	10 01	45 18	440	37,78	0,38	-0,18	534,30	67,43	36,10	0,36	-0,19	510,52	43,65
46	Santa Filomena	Santa Filomena	09 05	45 51	380	37,27	0,37	0,09	584,77	488,45	35,73	0,36	0,08	560,67	464,34
47	Fazenda Cachoeira	Santa Filomena	09 15	45 43	380	31,68	0,32	0,39	496,42	909,71	30,18	0,30	0,38	472,94	886,23
48	Santa Luz	Santa Luz	08 55	44 03	340	45,60	0,46	-0,27	714,13	0,00	45,60	0,46	-0,27	714,13	0,00
49	Sebastião Barros	Sebastião Barros	10 49	44 50	360	35,23	0,35	-0,07	490,57	199,44	33,55	0,34	-0,07	467,15	176,02
	média					41,72	0,42	-0,19	691,76	91,43	42,37	0,42	-0,20	703,19	78,13
	desvio					10,770	0,108	0,138	349,066	156,397	8,283	0,083	0,130	328,518	152,336
	coeficiente de variância					0,2581	0,2581	-0,7310	0,5046	1,7105	0,1955	0,1955	-0,6412	0,4672	1,9497
	máximo valor					72,002	0,720	0,390	2632,185	909,706	72,002	0,720	0,384	2632,185	886,229
	mínimo valor					2,029	0,020	-0,432	18,842	0,000	30,180	0,302	-0,432	467,150	0,000

Fonte: Medeiros (2014).

## Índice Hídrico

Com os dados de precipitação média climatológica, temperatura média mensal do ar, determinou-se o balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948; 1953) para os 49 postos em quatro níveis de CAD's, onde o cálculo do balanço hídrico permitiu estimar a quantificação dos níveis de deficiência (DEF) e excesso hídrico (EXC), através dos índices de aridez e de umidade. A Figura 2 tem-se a representações espacial e intermunicipal dos Índices Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CAD's (a) 75 mm; (b) 100 mm; (c) 125 mm e (d) 150 mm.

O índice hídrico é função dos índices de aridez e de umidade, como definido pela equação (11), onde o índice de aridez tem um menor peso nesta equação. Através dele, são classificados os tipos climáticos segundo Thornthwaite (1948). Através da Figura 1 nota-se que, existem muitas flutuações climáticas (ou tipos climáticos) detalhando mais o gráfico deste índice.

Na análise gráfica verificou-se inicialmente que praticamente não ocorreram variações entre eles em função das CAD's estudadas. O que de maneira geral é consequência dos valores apresentados dos índices de aridez e de umidade, como previsto. Na bacia estudada predominam os climas: semiárido ( $-40 \leq I_h < -20$ ), seguido pelo subúmido ( $-20 \leq I_h < 0$ ) úmido e subúmido ( $0 \leq I_h < 20$ ). Ocorreu à predominância de índices hídricos positivos, para as CAD's de 75, 100, 125 e 150mm nas seguintes localidades Fazenda Chupeiro; Santa Filomena, com exceção para a fazenda Paus que não ocorreu índices hídricos na CAD de 75 mm em áreas favorecidas por se localizarem entre rios, com condições atmosféricas favoráveis a precipitação. Por fim, merece destaque também a um pequeno núcleo correspondente ao clima árido ( $-60 \leq I_h < -40$ ).

Podem-se explicar os núcleos através de dois fatores que podem contribuir para o aparecimento das faixas referentes ao clima úmido e subúmido ( $0 \leq I_h < 20$ ), juntamente com a faixa ( $20 \leq I_h < 40$ ) correspondente ao clima úmido. Este tipo de clima pode ser devido ao favorecimento da precipitação no local juntamente com a altitude dos postos estudados, em que se tem a diminuição da temperatura do ar e, conseqüentemente, da evapotranspiração potencial em função da altitude.

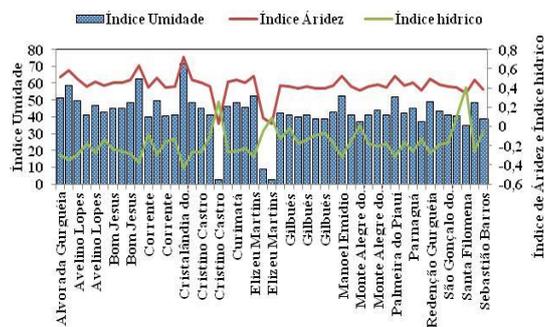
Na Figura 3 verifica-se que a deficiência diminuiu quando aumenta a capacidade de água disponível deste solo (CAD) nas lâminas estudadas (de 125 até 15 mm), as deficiências hídricas não sofreram alterações para as CADs de 75 e 100mm ao passo que nas CADs de 125 e 150mm tornando-se mais notório os municípios de Eliseu Martins, Gilbués, e as fazendas Puca; Chupeiro; Melancia; Santa Maria; Boqueirão dos Felipes, Bela Vista e Galheiro. Deve-se considerar que as modificações dos limites das CAD's podem ocasionar comportamentos dessa deficiência razoavelmente diferentes em alguns municípios. Porém, sua característica de um modo geral não fica comprometida.

Todavia as estimativas tenham sido obtidas por meio do balanço hídrico proposto por Thornthwaite (1948; 1953), o resultado da deficiência hídrica na maior parte da bacia do rio Uruçuí Preto apresentado aqui foi bem coerente com o mapeamento dessa mesma variável para a CAD's de 75 e 100mm (Figura 3), apresentado por Sentelhas et al. (2008) utilizando o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), advertindo que a estimativa da evapotranspiração potencial é a mesma nos dois métodos. A coerência dos resultados está no fato que as menores deficiências são localizadas predominantemente os municípios de Eliseu Martins, Gilbués, e as fazendas Puca; Chupeiro; Melancia; Santa Maria; Boqueirão dos Felipes, Bela Vista e Galheiro; as maiores deficiências estão no restante da área estudada.

## **Índice de Aridez**

Para um estudo da intensificação ou não deste índice, é preciso que se faça uma análise temporal do comportamento do mesmo. A Figura 2 representa a distribuição da aridez na bacia estudada por esse índice, com suas faixas seguindo o próprio limite de classificação nas quatro CAD's. Os locais que apresentam menos índices de aridez foram as Fazendas Malhadinha e Chupeiro (0,03) e Fazenda Puca (0,09) para a CAD de 75, na CAD de 100 e 125 as Fazendas Chupeiro com 0,02 e Puca (0,09), ao passo que na CAD de 150mm não ocorreram estes valores, devido às referidas localidades estarem entre rios.

A mesma característica independentemente de qual CAD esteja utilizando suas flutuações ocorrem entre 0,20 a 0,72. De acordo com subtipos climáticos segundo Thornthwaite (1948) em função do índice de aridez, verifica-se que na bacia do rio Uruçuí Preto (Figura 2) predominam moderada a grande deficiência de água.



(a)

Figura 2. Índice Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs (a) 75 mm. Fonte: Medeiros (2014).

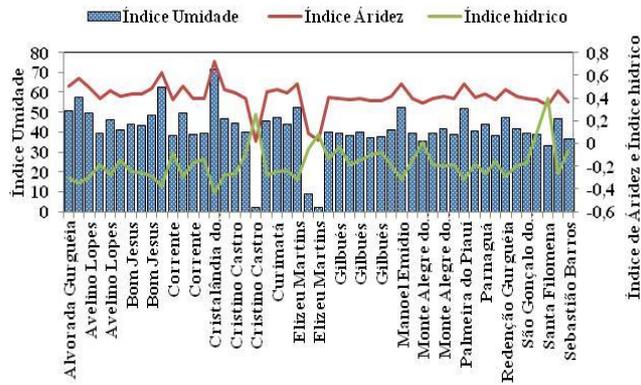
## Índice de Umidade

O índice de umidade representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial. A Figura 2 mostra a variabilidade deste índice na bacia do rio Uruçuí Preto de acordo com os 49 postos pluviométricos, definido através de limites determinados pela classificação climática de Thornthwaite (1948), para facilitar o entendimento e auxiliar nas possíveis classificações futuras.

Na Figura 3, observa-se que para as CAD's estudadas, o índice de umidade na bacia da área estudada há uma diminuição significativa em alguns municípios especificamente em Eliseu Martins e Gilbués para a CAD de 125 e 150 mm, verificou-se que para as CAD de 75 e 100 mm o índice de umidade praticamente não apresentou flutuações.

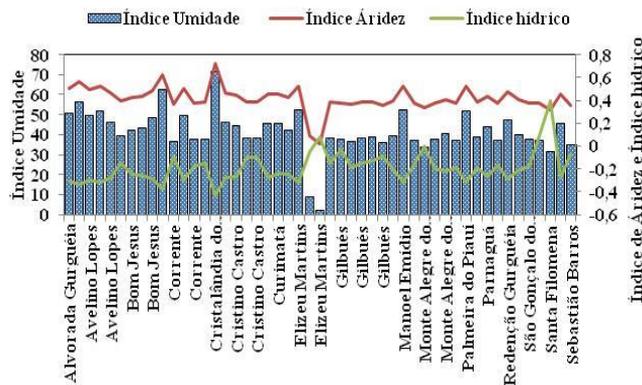
As demais localidades não apresentaram valores significativos ao ponto de mudarem de subdivisão climática, embora elas possam ter sofrido redução deste índice. Verifica-se que para a área da bacia do rio Uruçuí Preto predomina-se um índice de umidade oscilando entre 2,03 a 72%, para as CADs de 75; 100 e 125, na CAD de 150 registram-se anomalias nestes valores e suas flutuações oscilam entre 30,18 a 72%. De acordo com os subtipos climáticos segundo Thornthwaite (1948) em função do índice de umidade, predomina pequeno ou nenhum excesso de água (Tabela 1).

A Figura 2 (a,b,c,d) representa a espacialização do índice de Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs (a) 75 mm; (b) 100 mm; (c) 125 mm e (d) 150 mm. O índice de umidade é o inverso da aridez, ou seja, ele representa o quanto uma região é úmida, devido aos altos índices de precipitação. O índice hídrico é um conjunto entre o índice de aridez e de umidade. Um decréscimo deste índice resulta num aumento do índice de aridez e da forma que um aumento deste índice resulta num aumento do índice de umidade. O índice de aridez representa o quanto uma região é árida. Com os índices obtidos no balanço hídrico, uma espacialização dos mesmos foi feita, para os municípios que compõem a área da bacia em estudo onde os mesmos apresentam-se nas figuras a seguir.



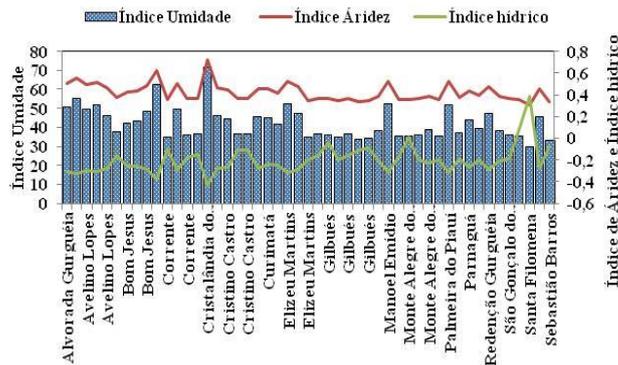
(b)

Figura 2b. Índice Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs (c) 100 mm  
Fonte: Medeiros (2014).



(c)

Figura 2c. Índice Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs (c) 125 mm  
Fonte: Medeiros (2014).



(d)

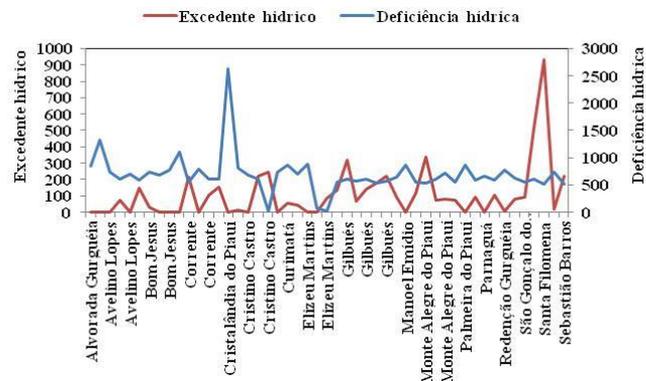
Figura 2d. Índice Umidade, Aridez e Hídrico da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs (d) 150 mm.  
Fonte: Medeiros (2014).

### Excedente Hídrico

A Figura 3 (a,b,c,d) mostra a variação intermunicipal do excesso hídrico para a área da bacia do rio Uruçuí Preto de acordo com os postos estudados. Através desta figura, observa-se que a variação intermunicipal do excedente hídrico para as CADs estudadas apresentaram-se com variações significativas para os municípios de Corrente, Cristino Castro, Gilbués, Monte Alegre do Piauí e Santa Filomena nas CADs de 75 e 100 mm. Ocorreram reduções nos números de municípios com excedente hídricos em relação às CADs de 75 e 100, sendo os municípios de

Gilbués, Monte Alegre do Piauí e Santa Filomena onde os excedentes hídricos ocorreram nas CADs de 125 e 150 mm.

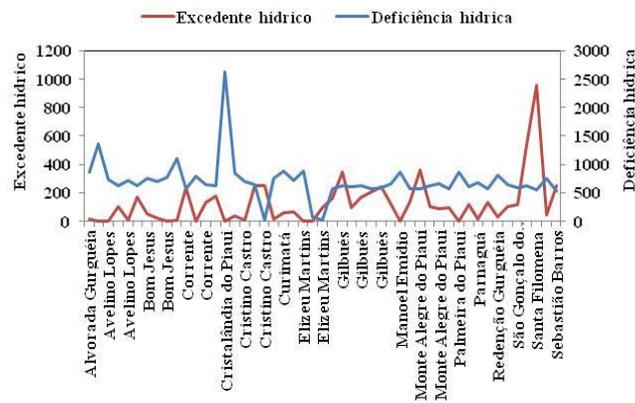
Considerando a equação aplicada para a obtenção do excedente hídrico, perceber que esse baixo índice são causados ou provocados pelas flutuabilidade dos baixos índices de precipitação pluviométrica e sua distribuição espaço temporal que ocorre na bacia do rio Uruçuí Preto. Verificou-se que o resultado dos excedentes hídricos para a lâmina de 75 e 100 mm (Figuras 3 a, b), tem coerência com o mapeamento mostrado por Sentelhas et al. (2008).



(a)

Figura 3a Excedente hídrico e deficiência hídrica da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs de 75 mm;

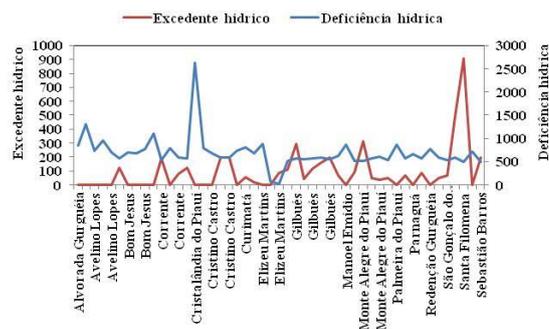
Fonte: Medeiros (2014).



(b)

Figura 3b. Excedente hídrico e deficiência hídrica da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs de 100 mm.

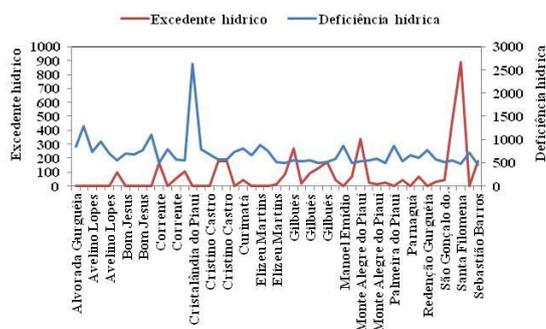
Fonte: Medeiros (2014).



(c)

Figura 3c. Excedente hídrico e deficiência hídrica da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs de 125 mm.

Fonte: Medeiros (2014).



(d)

Figura 3d Excedente hídrico e deficiência hídrica da bacia do rio Uruçuí Preto nas CADs de 150 mm.

Fonte: Medeiros (2014).

## Conclusões

As variações espaciais do excesso hídrico são significativo em alguns municípios da área ribeira do rio Uruçuí Preto e do entrono da bacia.

Na variação do índice de aridez em função das CADs destacaram-se oscilações localizados dentro das CADs estudadas;

No índice de umidade percebeu-se que ocorreram reduções significativas em partes da dos lovcais da área de estudo.

Os índices calculados no balanço hídrico mostraram a grande variabilidade espacial da aridez e da umidade ao longo de todo a bacia, entretanto os índices de aridez estão acima dos valores estabelecidos para a desertificação.

As deficiências hídricas oscilam quando reduz a capacidade de água disponível deste solo (CAD), tornando-se mais notório em alguns municípios.

O balanço hídrico é uma ferramenta importante não apenas para cômputo de excesso e deficiência hídricas do solo, mas também como um método de classificação climática de uma região e o tipo de cultura que apresenta maior afinidade com as condições atmosféricas reinantes.

Ao analisar o índice hídrico verificou-se que praticamente não ocorreram variações entre eles em função das CADs estudada.

As informações são de suma importância para o planejamento agrícola, hidrológico e para definições das áreas de irrigações.

A distribuição espacial da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano.

A distribuição espacial da temperatura apresenta grande variabilidade com variação na distribuição anual da temperatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. L. N.; ESPINDOLO, H. S. Território, sociedade e modernização. Abordagens interdisciplinares. Editora Univale, p.396, 2010.
- AB'SÁBER, A.N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. Geomorfologia, São Paulo, n.53, p.19, 1977.
- ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ARRUDA, F. B.; ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O. Métodos agrometeorológicos para controle da irrigação. Campinas, Instituto Agrônômico, 1990. p.62
- ALMEIDA, H. A.; PEREIRA, F. C. Captação de água de chuva: uma alternativa para escassez de água. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, Aracaju, SE, Anais..., Aracaju, 2007.
- ALMEIDA, H. A.; SILVA, L. Modelo de distribuição de chuvas para a cidade de Areia, PB. In: I Congresso Intercontinental de Geociências, Fortaleza, CE, Anais..., Fortaleza, 2004.
- ALMEIDA, H. A. Probabilidade de ocorrência de chuva no Sudeste da Bahia. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico, n. 182, p.32. 2001.
- ALVES, J. M. B., SOUSA, C. A. REPELLI, VITORINO, M. I., FERREIRA, N. S: Episódios de La Niña na bacia do oceano pacifico equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia. V.12. 63-76, 1997.
- ALVES, G. S.; ROCHA, J. G. **A desertificação no Município de Cabaceiras- O Geoprocessamento aplicado a um diagnóstico ambiental.** In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa. João Pessoa, 2007, p 3-7
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Contribuição aos estudos do clima urbano: variação térmica e higrométrica em espaços intraurbanos. Mercator, v.8, n.17, p.181-191, 2009.
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S.; Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, v.33, n.2, p.193-197, 2011.
- AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Padrões espaço-temporal Pluviométrico na Amazônia Oriental utilizando análise em Multivariada. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 27, p. 423-434, 2012.
- AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. Acta Scientiarum. Technology, v.30, n.1, p.87-91, 2008.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense. Tese Doutorado. Piracicaba: ESALQ, 2000. p.556.
- ANDRADE, E.; PEREIRA, O.; DANTAS, E. Semiárido e o manejo dos recursos naturais. Fortaleza: Imprensa Universitária-UFC, 396 p. 2010.
- ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS, P. C. Variabilidade, anomalia e mudança climática. In: Angelocci, L. R; SENTELHAS, P. C. Material didático da disciplina LCE306-Meteorologia Agrícola. ESAL/USP, 2007.
- APPM. Associação dos prefeitos piauienses municipais. 2012.
- ARAGÃO, J. O. R. 1975. Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. (INPE-789-TPT/017). Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

- ARAGÃO, R. Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.243-252, 2013.
- ARAÚJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. Dissertação de mestrado. UFCG, 2006.
- ARAÚJO, W. S. Detecção de Tendências de mudanças climáticas para os Estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal e Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Campina Grande – PB, 2009.
- ARRAES, F. D. D.; LOPES, F. B.; SOUZA, F.; OLIVEIRA, J. B. Estimativa do Balanço Hídrico para as condições climáticas Iguatu, Ceará, usando Modelo Estocástico. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. Fortaleza, v.3, n.2, p.78-87, 2009.
- ASPIAZU, C. 1998. Prognósticos de fases em cultivos de mais dentado mediante sumas de temperaturas. *Revista de La Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires*. Buenos Aires, v.19, n.1-2, p.61-69, 1971.
- ASSIS, J. P. Modelo estocástico para estimação da produtividade potencial de milho em Piracicaba-SP.. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. p.192, 2004.
- AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 11<sup>a</sup> Edição. Bertrand Brasil, 2006.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.332.
- AYOADE, J. O. Introdução a climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: BCD, 1998.
- AYOADE, J. O. Umidade atmosférica. In: Ayoade, J. O. A climatologia para a introdução os trópicos. Rio de Janeiro: Beltrand Brasil, p.128-154. 1996.
- AUBREVILLE, A. Climats, forêts et désertification de l’Afrique Tropicale. Paris: Société d’Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, 1949.
- AZEVEDO, J. R. G. Water resources and global warming for the São Francisco River in Brazil. 1999. Ph.D. Thesis. University of Southampton. Southampton, England, 1999.
- AZEVEDO, L. C.; NERY, J. T.; MARTONI, A. M.; ANDRADE, A. R.; ICHIBA, S. Análise da precipitação pluvial associada ao fenômeno El-Nino na bacia hidrográfica do Rio Iguazu – Paraná. In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, USP. p.1904-1913. 2005.
- AZEVEDO, R. F.; Análise de Áreas Susceptíveis à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.112. 2012.
- BAHÍA, V. G. Fundamentos da erosão acelerada do solo *Informativo Agropecuário*: Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992.
- BARBOSA, G. S.; IOST, C.; SCHIESSL, M. A.; MACIEL, G. F. Estimativa da erosividade da chuva (R) na Bacia Hidrográfica do rio Manoel Alves Grande localizado no cerrado tocantinense. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16. Anais...Belém. 2000.
- BARBOSA, R. V. R. Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL). **Dissertação de Mestrado**, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. p.135, 2005.
- BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. BOLFE, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. p.418.

- BARRETO, P. N.; SILVA R. B.C.; SOUZA, W.S.; COSTA, G.B.; NUNES, H. G.G.C.; SOUSA, B.S. B. Análise do balanço hídrico durante eventos extremos para áreas de floresta tropical de terra firme da Amazônia Oriental. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. Anais Belo Horizonte.
- BARRETO, P.N.; SILVA R. B.C.; SOUZA, W.S.; COSTA, G.B.; NUNES, H. G.G.C.; BARRETT, E, C; CURTIS, L, F. Introduction to environmental Remote Sensing, London: Chapman e Hall, 3rd.Ed, 1992, 425p. CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, (Boletim Técnico, 116). 1971.
- BASTOS, E. J. B.; AZEVEDO, P. V. Determinação da estação de cultivo e época de plantio para as variedades de arroz, milho e sorgo no Estado da Paraíba. I Congresso Interamericano de Meteorologia e IV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília – DF. p.22-27. 1986.
- BATES, B.C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S.; PALUTIKOF, J.P. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. p.210. 2008.
- BAUGHMAN, A.; ARENS, E. A. Indoor Humidity and Human Health – Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity – Influenced Indoor Pollutants. ASHRAE Transactions, v.102, n.1, p.193–211. 1996.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e Características Hidrológicas das Chuvas de Rio Grande. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.235-244, 2010.
- BELO FILHO, A. F. A teoria da entropia aplicada no estudo da precipitação pluvial e da vazão fluvial no nordeste do Brasil. (Tese de Doutorado). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p.53. 2010.
- BENOIT, R., PELLERIN, P., KOUWEN, N. “Toward the use of coupled atmospheric and hydrologic models at regional scale”, Monthly Weather Review, American Meteorological Society, v.128, p.1681-1706. 2000,
- BERGAMASCHI, H; MATZENAUER, R. Milho. In: Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. MONTEIRO, José Eduardo B. A. (Org.). Brasília, DF: INMET, 2009.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, Ícone, p.355. 1990
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 5 ed. São Paulo: Icone, p.360. 1999.
- BEVEN, K. J.; I. D. MOORE. “Terrain Analysis and distributed modelling in hydrology -Advances in Hydrological Processes.” J. Wiley Ed., p.249, 1994.
- BOTELHO, C.; CORREIA, A. L.; SILVA, A. M. C.; MACEDO, A. G.; SILVA, C. O. S. Fatores ambientais e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda. Rio de Janeiro: Caderno Saúde Pública, v.19, n.6, 2003.
- BOTELHO, R. G. M. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2 ed. p.153-192. 2007.
- BOX, G. E.; JENKINS, G. M Time series analysis, forecasting and control. San Francisco Holdem-Day. p.553, 1970.
- BRANDÃO, A. M. P. M. Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: Impactos Ambientais Urbanos no Brasil, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001.
- BRASIL. (1997). Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, DF, 08 jan.

- BRASIL. Estágio atual dos aspectos institucionais da gestão de recursos hídricos no Brasil. Política nacional de recursos hídricos, Brasília: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal/Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos, p.3-11, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (MMA). Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação: Nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. 2. ed. Brasília, DF: MMA: Plano Nacional de Combate a Desertificação, p.95. 1998.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu. São
- BRITO, J. I. B. ; SOUZA, I. A. ; ARAGÃO, J. O. R. . Ligações entre o El Niño e Possíveis Processos de desertificação no estado do Rio Grande do Norte. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1998, Brasília. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. v. 1.
- BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of forest plantations in the tropics. In: NAMBIAR, .K.S.; BROWN, A.G. ed. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. ACIAR Monograph n.43. Cap.5, p.125-167, 1997.
- BRUN, G. W.; TUCCI, C. M. M. Previsão em Tempo Real do Volume Afluente ao Reservatório de Ernestina. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, p.73-79, 2001.
- CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro. In: O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas. Editora Universitária, Recife – PE, 1 ed. p.65-104. 2007.
- CAFFEY, J. E. Inter-station correlations in annual precipitation and in annual effective precipitation. Hydrology Papers, Colorado State University, n. 6, junho 1965.
- CALBETE, N. O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil, 1996. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: abr. 2013.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object – oriented data modeling. Computers e Graphics, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- CAMARGO, A. P. 1971. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, p.28. (Boletim Técnico, 116).
- CAMARGO, A. P; PINTO, H. S; PEDRO JR. Aptidão climática de culturas agrícolas. In: São Paulo. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado da Agricultura, v.1, p.109-149. 1974.
- CAMPOS, A. B. Equações de Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Para o Estado do Piauí. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, CE, V.45, n.3. p.488-498. 2014.
- CAMPOS, C. G. C. Padrões Climáticos Atuais e Futuros de Temperatura do Ar na Região Sul do Brasil e Seus Impactos nos Cultivos de Pêssego e Nectarina.. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, p.191. 2010.
- CAMPOS, H. R. P. Estudo da relação entre variáveis meteorológicas e incidência de dengue utilizando métodos estatísticos e redes neurais artificiais. Dissertação (mestrado em meteorologia agrícola). Universidade federal de Viçosa. Minas Gerais, 2009.
- CARLOS, ANA FANI. A cidade. 2. ed. Cidade: editora, 2005.
- CARTA CEPRO. Teresina. Fundação CEPRO. v.1, Nov. 1974.

- CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; MARINALDO, F. P.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.3-9, 2009.
- Carvalho, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil, 1972.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil, 2005.
- CASSETI, V. *Elementos de Geomorfologia*. Goiânia: Editora UFG, 1994.
- CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1239-1251, 2008.
- CAVALCANTE, F. S.; DANTAS, J. S.; SANTOS, D.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no Estado da Paraíba. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia - Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça/Faef* Ano IV, n. 08, Dez 2005.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. 1994. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. IN: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 8. Belo Horizonte, Anais... Belo Horizonte: SBMET, 1994, v.1, p.154-157.
- 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*, v.10, n.1, p.140-147. 2006.
- CECÍLIO, R. A. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. *Revista Ambi-Água*, v.4, n.3, p.82-92, 2009.
- CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. Piauí: visão global. 2. Ed. rev. Teresina: CEPRO, 2003.
- CHAGNON, S. A. Removing the Confusion over Droughts and Floods: The Interface between Scientists and Policy Makers. *Water International*, p.10-18, 1980.
- CHAPMAN, T. G. Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance. *Journal of Hydrology, Amsterdam*, v.85, n.1, p.111-126, 1986.
- CHESF. Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Gerencia Regional de Operação Oeste. Teresina-PI. 2000.
- CIRILO E. A. A questão da água no semiárido brasileiro. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-811.pdf>. Acesso em junho de 2012.
- COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, v.369, p.165-174, 2009.
- COMDEPI. Companhia de desenvolvimento do Piauí. Estudo de viabilidade para aproveitamento hidroagrícola do vale do rio Uruçuí Preto. Teresina, 2002.
- CONTI, G. C. Estimativa da Precipitação Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto: Estudo de Caso para o Estado do Rio Grande do Sul (Dissertação de Mestrado). Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. In: Sant'ana Neto, J. L. e Zavattini, J. A. (org). Variabilidade e mudanças climáticas. Maringá: Eduem, p.17-28. 2000.
- CONTI, J. B. Desertificação nos trópicos: Proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro. São Paulo: p.265. Tese Livre-Docência. USP. 1995.

- CORREIA, M. F.; SILVA, F. S.; SILVA ARAGÃO, M. R. S.; SANTOS, E. P.; MOURA, M. S. B. Impacto da expansão agrícola na amplitude térmica diária em ambiente semiárido. *Ciência e Natura*, v. Suplementar, p.311-314, 2011.
- COSTA, M. H. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to cause by pastureland expansion. *Geophysical Research Letters*, v.34 p.1-4, 2007.
- COSTA, M. H. Balanço Hídrico, Caderno Didático n. 19, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 1994.
- COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.46, n.4, p.477-493, 2007.
- CPTEC/INPE-PNUD. Ocorrência de El Niño. Disponível em: [http://enos.cptec.inpe.br/tab\\_elnino.shtml](http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml) acesso em: ago 2012.
- CUSTÓDIO, Helita Barreira. Legislação brasileira do estudo de impacto ambiental. In: AUKTOR-NISIELO, Sâmia Maria; GOBBI, Nivar; FOWLER, Harold Gordon. (Org.). *Análise ambiental: uma revisão multidisciplinar*. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1995. Cap. 3.
- DA SILVA, D. F.; ARAÚJO, L. E.; KAYANO, M. T.; SOUSA, F. A. S. Avaliação dos impactos da variabilidade climática na distribuição pluviométrica da bacia do rio Mundaú através do IAC. II Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, Santos-SP, 2007. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.22, n.2, p.23-26, 2007.
- DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1a. Aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.335-345, 2003.
- D'ALMEIDA, C., VÖRÖSMARTY, C. J., MARENGO, J. A., HURTT, G. C., DINGMAN, S. L., KEIM, B. D. A. Water Balance Model to Study the Hydrological Response to Different Scenarios of Deforestation in Amazonia. *Journal of Hydrology*, v. 331, p.125-136. 2006.
- DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.46-54. 2010.
- DANTAS, R. T.; NÓBREGA, R. S.; CORREIA, A. M.; RAO, T. V. R. Estimativas das temperaturas máximas e mínimas do ar em Campina Grande - PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA; Rio de Janeiro, 11. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro. SBMET, p.534-537. 2000.
- DEDECEK, R. A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.12, p.1431-1438. 1988.
- DAS, D.K. et al. Environmental Baseline Data Collection at Diablillos Property, Salta, Argentina. In: *Argentina Mining 98*. Mendoza, Argentina, 1998, 15p
- DUARTE, A. A. A. M. O Valor Econômico e Estratégico das Águas da Amazônia. 136f. Tese de Doutorado, Centro de Geociências/Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2006.
- DURIGAN, G. e DIAS, H.C.S. Abundância e diversidade da regeneração natural sob mata ciliar implantada. In: congresso florestal brasileiro, 6, Campos do Jordão, 1990. Anais. São Paulo.
- EASTERLING, D. R., HORTON, B., JONES, P. D., PETERSON, T. C., KARL, T. R., PARKER, D. E., SALINGER, M. J., RAZUVAYEV, V., PLUMMER, N., JAMASON, P., FOLLAND, C. K. Maximum and minimum temperature trends for the Globe. *Science*, v.277. p.364-367. 1997.
- EEROLA, T. T. Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro. Florianópolis: 2003.

- EMATER-PI, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí, 2000.
- EMBRAPA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Vol. SNLCS. Rio de Janeiro, 1986.
- EMATER-PI. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí. 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- ESLAMIAN, S.; BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. *International Journal of Ecological Economics e Statistics*, 2008. <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ai\\_n28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ai_n28516608/)>. Mar. 2014.
- ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996.
- FAO. Food and agriculture organization of the United Nations. La erosion del suelo por el agua: Algunas medidas para em las tierras de cultivo. Roma: Organization de Las Naciones Unidas, 1967, p. 207.
- FERNANDO, C. A. Análise de Discurso: Reflexões Introdutórias. 2ª ed. São Carlos: Claraluz. 2008.
- FEROLA, T. T. Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro. Florianópolis: 2003.
- FERRAZ, F.T.; LIMA, T. P.; FRANÇA, L. C. J.; COGO F. B.; SILVA, J. B. L.; Intensidade de uso e exploração do solo em trecho do rio Uruçuí-Preto, Piauí. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2014, 12 a 15 de agosto de 2014 - Teresina-PI, 2014..
- FERREIRA DA COSTA, R. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. *Acta Amazônica*, v.28. p.395-408. 1998.
- FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. O Clima da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: Subsídios para a Gestão de Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.02. p.302-319.2012.
- FILL, H. D. Informações hidrológicas. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Nobel/ABRH. Cap.2. p.93-210. 1987.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.127-132, 1997.
- FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil Water Conservation*, v.36, p.355-359, 1981.
- FRANÇA, L. C. J.; FERRAZ, F.T.; LIMA, T. P.; SILVA, J. B. L. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento das áreas com intensidade de uso do solo em sub-bacia do rio Uruçuí-Preto, Piauí. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2014, 12 a 15 de agosto de 2014 - Teresina-PI, Brasil.
- FRAZIER, S. (ed.). (2002). A directory of wetlands of international importance. Disponível em: <[http://www.wetlands.org/pubse/pub\\_online/EspDef.pdf](http://www.wetlands.org/pubse/pub_online/EspDef.pdf)>. Acesso em: set. 2003.
- FREITAS, M. A. S. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Paranaíba no Nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses, 2004, Puerto Iguazú. Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses. Puerto Iguazú: CACIER, v.1. p.1-12. 2004.
- 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.

FRERE M. A Method for the Practical Application of the Estimated of Potential Evaporation from a Free Water Surface. [S.1]:FAO, p.26. 1979

Fundação CEPRO, 2013

FURLAN, D.N. Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no Estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência. 129f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo. 2009.

FU, G.; CHARLES, S. P.; YU, J. A critical overview of pan evaporation trends over the last 50 years. *Clim. Change.*, v. 97, p. 193-214, 2009.

GALVANI, E.; KLOSOWSKIA, E. S.; CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá-PR. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7. n.1. p.81-90. 1999.

GALVÍNIO, J. D. SOUSA, F. A. S.; SRINIVASAN, V. S. Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.11 n.3 Jul/Set, 135-146. 2006.

GALVÍNIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Uso de modelos auto-regressivo e médias-móveis para geração de vazões médias mensais na bacia hidrográfica do alto São Francisco. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, p.1852-1857, 2002.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; DA SILVEIRA, A. L. L. Estimativas dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas Bacias Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n.4.p.103-120, 1998.

GILBERT, R. O, *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold, p. 320. 1983.

GOMES FILHO, M. F. Um estudo sobre a influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica: uma aplicação para o Nordeste brasileiro. Instituto de Pesquisa Espaciais, INPE-1640-TDL/015, Dissertação (Mestrado em Meteorologia). 1979.

GOMES, A. A. N., ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Estimativa da evapotranspiração de referência mensais para o Estado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.560-564, 2005.

GOMES, A. A. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Estimativa da evapotranspiração de referência mensais para o Estado do Piauí. XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA 2002, Salvador-Bahia, 29 de julho a 02 de agosto de 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Cap.3, p.133 - 204, Piracicaba, São Paulo, 2002.

GONÇALVES, W. A.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, L. E.; DA SILVA, D. F.; ARAÚJO, H. A. Vulnerabilidade Climática do Nordeste Brasileiro: Uma análise de eventos extremos na Zona Semi árida da bacia hidrográfica do São Francisco, XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais, Florianópolis, 2006.

GRANTZ, M.H. Introduction. In: GLANTZ, M.H., RICHARD, W.K., NICLHOLLS, N. Teleconnection linking worldwide climate anomalies. New york; Cambridge University, 1991. p 1-12.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. Drainage basin form and process: a geomorphological approach. London: Edward Arnold, p.458. 1973.

- GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stoch Environ Reserch Risk Assess*, v.25, p.537–554. 2011.
- GUEDES, R. V. S.; LIMA, F. J. L.; AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no Estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. *Revista de Geografia, Recife*, p.218-233, 2010.
- GUEDES, R. V. S.; SOUZA, S. S.; SOUSA, F. A. S. Uso da entropia e da análise de agrupamento na avaliação da disponibilidade potencial de recursos hídricos do Nordeste do Brasil. *Revista Ambiente e Água, Taubaté*, v.5. n. p.75- 187. 2010.
- GÜNTNER, A.; KROL, M.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Simple water balance modeling of surface reservoir systems in a large data scarce semiarid region. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, v.49. n.5. p.901-918. 2004.
- HAFNER, A. V. Conservação e reuso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharias, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- HARMANCIOGLU, N.; YEVJEVICH, V. Transfer of hydrologic information among river points. *Journal of Hydrology*, n.91. p.103-118. 1987.
- HAYLOCK, M., PETERSON, T., ALVES, L., AMBRIZZI, T., ANUNCIACÃO, M., BAEZ, J., BARROS, V., BERLATO, M., BIDEgain, M., CORONEL, G., CORRADI, V., GARCIA, V., GRIMM, A., KAROLY, D., MARENGO J. A., MARINO, M., MONCUNILL, D., NECHET, D., QUINTANA, J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J., TREBEJO, I., VINCENT, L. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*. V.19. n.8. p.1490-1512. 2006.
- HEMOND, F. H.; FECHENER-LEVY, E J. Chemical fate and transition in the environment. *London: Academic Press*, 2000.
- HENRIQUE, F. de A. N. Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Campina Grande – PB. Campina Grande. (Dissertação Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande, 2006. p.102.
- HENDRICK, R. L.; COMER, G. H. Space variations of precipitation and implications for raingage network design. *Journal of Hydrology*, v.10. p.151- 163. 1970.
- HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço Hídrico Atual e Simulações para Cenários Climáticos Futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. *Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.2. n.2. 2007.
- HUBER, L.; GILLESPIE, T. J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, v.30. p.553-577. 1992.
- HUDSON, N. Soil conservation. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, p.391. 1995.
- HUNTZINGER, L, T; ELLIS, M, Central Nebraska River Basins. Bethesda: Water Resources Bulletin, Vol 29, N° 4, August 1993, p 533-574. KÖPPEN, W.; GEIGER, R. “Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes”. Wall-map 150cmx200cm. 1928.
- IBGE, Censo Agropecuário – 1995/1996/2006.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: fev. 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: mar. 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: mar. 2012.
- ICHIKAWA, A. Global Warming – The Challenges. A Report of Japan’s Global Warming Initiative. Springer. USA. 2004.
- IEF – MG. Instituto Estadual de Florestas. Relatório interno da cobertura florestal do Triângulo Mineiro. Uberlândia, p.30. 1995.
- INMET. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990). Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 2009.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório nº2: Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas médias e extremas. CPTEC/INPE. São Paulo, Brasil. p.91. 2007.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. “Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., 2007.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. MACHADO, R.L. et al. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro state, Brazil. *Bragantia*, v.69, p.77-84, 2010.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. 2007.
- JIANG, T.; CHEN, Y.D.; XU, C-Y.; CHEN, X.; CHEN, X.; SING, V.P. “Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China” *Journal of Hydrology*, v.336. p.316-333, 2007.
- JOLY, C.A. Biodiversity of the gallery forests and its role in soil stability in the Jacaré-Pepira water, State of São Paulo, Brazil. In: JENSEN, A., ed. *Ecotones*. Barmer: MAB/UNESCO. p.40-66. 199.
- JUNIOR, B. S. G.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). *Ambiência Guarapuava (PR)* v.8 n.1 p. 61 - 71 Jan./Abr. 2012.
- KAGEYAMA, P. Y. Série técnica IPEF, v.8, n.25, p.1-5, 1992.
- KAGEYAMA, P. Y.; FREIXÊDAS, V. W.; GERES, W. L. A.; DIAS, J. H. P.; BORGES, A. S. *Revista do Instituto Florestal*, v.4. p.527-533, 1992.
- KANE, R. P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, *Internacional Journal of Climatology*, v.17. p.655-665, 1997.

- KAWACHI, T.; MARUYAMA, T.; SINGH, V. P. Rainfall entropy delineation of water resources zones in Japan. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.246. n.1. p.36-44, 2001.
- KAYANO, M. T; ANDREOLI R. V. Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, v.111, 2006.
- KLAUS REICHARDT. *Processos de transferências no sistema solo-planta-atmosfera*. Ed. Cargil, 1985.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. "Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes". Wall-map 150cmx200cm. 1928.
- KOUSKY, V. E.; Frontal influences on northeast Brazil, *Monthly Weather Review*, v.107. n. 9. p.1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. *Tellus*, v.33: p.538-551, 1981.
- LE MOS, M. S. S.; BAHIA, V. G. Erosividade da chuva. *Informe Agropecuário*, v.16. n.176. p.25-31. 1992.
- LIBOS, M. et al. Covariabilidade interanual entre a vegetação e o clima na bacia hidrográfica do rio Cuiabá - MT. *Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE. Natal, 4739-4746, 2009.
- LIMA, B. N. B.; CIOLETTI, L. M.; CUNHA, M. O. T.; BRAGA, G. A. Entropia: introdução à Teoria Matemática da (des)Informação. Minicurso apresentado na II Bienal da SBM, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2004.
- LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo. 2009. p.89. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.
- LIMA, M. G.; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.2, p.221-227, 1998.
- LIMA, N. P. Função hidrológica da mata ciliar. *Anais do Simpósio sobre mata ciliar*. Campinas: Fundação Cargill, p.11-19, 1989.
- LIMA, T. P.; FRANÇA, L. C. J.; FERRAZ, F.T.; SILVA, J. B. L.; BARBOSA, M. F. Intensidade de exploração do solo em uma sub-bacia do rio Uruçuí-Preto, Piauí Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2014, 12 a 15 de agosto de 2014 - Teresina-PI, Brasil.
- LINSLEY, R. K. JR.; FRANZINI, S. B. *Engenharia de Recursos Hídricos*. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- LOPEZ-BERMUDEZ, F. G. Consecuencia de los procesos erosivos de condiciones ambientales mediterráneas. Seminário "Erosión del suelo em condiciones ambientales mediterráneas". Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Valencia. p.108, 1990.
- MAKSILIOVIC, C. General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. *Urban Drainage in specific climates (IPH-V-Technical Documents in Hydrology)* Paris: UNESCO, v.1, n.40, p.1-21, 2001.
- MALEKINEZHAD, H.; NACHTNEBEL, H. P.; KLIK, A. Comparing the index flood and multiple regression methods using L-moments. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.36, p.54-60. 2011.
- MALUF, R. S.; ROSA, T. S. Mudanças climáticas desigualdade sociais e populações vulneráveis no Brasil. *Construindo capacidade: Relatório Técnico*, v.2. p.307. 2011.

- MARENGO, J. A. Possíveis impactos da mudança do clima no Nordeste. Disponível em: <<http://www.algosobre.com.br/atualidades/possiveis-impactos-da-mudanca-de-clima-no-Nordeste.html>>. 2014.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES L. M.; OBREGON, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; GILLIN, K.. Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. Relatório. p.56, 2011.
- MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; ZEE, D.; PINTO, H. S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: <[http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf)>. 2012.
- MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; Revista Multiciência, v.8, 2007.
- MARENGO, J.; SILVA DIAS, P.; Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. Capítulo 3 em Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação, 2006, p.63-109, Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editora Escrituras, SP.
- MATONDO, J. I. A comparison between conventional and integrated water resources planning and management. Physics and Chemistry of the Earth, v.27, p.831-838, 2002.
- MATOS, J. E. R. Chuvas intensas na Bahia: equações e metodologias de regionalização. Salvador: EDUFBA, p.296, 2006.
- MAUGET, S. U. M. Índice Padronizado de Precipitação (SPI); C. Springer Science, 2005.
- MAURER, E. P.; BREKKE, L. D.; PRUITT, T. "Is hydrology model selection important for estimating climate change impacts on California watersheds?" Journal of the American Water Resources Association, 2009.
- MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, v.13, n.1, p.53-64, 2009.
- MEDEIROS, R. M.; SILVA, C. O. Variação média mensal e anual da umidade relativa do ar para o Estado do Piauí. Trabalho apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia Florianópolis - Santa Catarina - Brasil. 1986.
- MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; AZEVEDO, P. V. Variação anual da umidade relativa do ar para o Nordeste do Brasil. Anais do VI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Alagoas - Maceió. p.383-390. 1989.
- MEDEIROS, R. M.; NETO, F. R. R. Perfil médio anual da umidade relativa do ar para algumas estações climatológicas do Estado do Piauí. Boletim Hidroclimapi, v.2. n.8. p. 31-46, 1992.
- MEDEIROS, R. M. Isoietas médias mensais e anuais do Estado do Piauí. Teresina: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação, Departamento de Hidrometeorologia, p.24. 1996.
- MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SABOYA, L. M. F.; FRANCISCO, P. R. M. Cálculo do balanço hídrico e da erosividade para o município de Cabaceiras-PB. Revista Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p.2894. 2015.
- MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise temporal do balanço hídrico na bacia do rio Uruçuí Preto - Piauí. ANAIS DO VI Workshop de mudanças climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e o III Workshop Internacional sobre mudanças climáticas e Biodiversidade - VIWMCRHPE/IIIWIMB - Recife 30 e 31 de outubro de 2014. p.214-227. 2014.

- MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. e FRANCISCO, R P. M. Variabilidade da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar e da precipitação na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí. Revista Educação Agrícola Superior – ABEAS v.28. n.1 p.44-50. 2013.
- MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F.; PAULO R. M. Variabilidade da umidade relativa do ar e da temperatura máxima na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto. Revista Educação Agrícola Superior, v.28, n.1, 2013.
- MEDEIROS, R. M. Desenvolvimento de planilhas eletrônicas para o cálculo do balanço hídrico conforme Thornthwaite e Mather 1948, 1955. 2013.
- MEDEIROS, R. M. Estudo agrometeorológico do Estado da Paraíba. p.128, Reedição. 2013.
- MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise Climatológica, Classificação Climática e Variabilidade do Balanço Hídrico Climatológico na Bacia do Rio Uruçuí Preto, PI. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife - PE, v.6, p.652-664, 2013.
- MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P. R.; GOMES FILHO, M. F. Análise hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí. Revista de Engenharia e Tecnologia, ISSN 2176-7270. v.5, n.4, p.151-163, 2012.
- MEDEIROS, R. M.; BORGES, C. K.; VIEIRA, L. J. S.; FRANCISCO, P. R. M. Análise climatológica da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria In: Seminário Nacional da Agroindústria - V Jornada Nacional da Agroindústria, Cabaceiras - Paraíba. 2012.
- MEDEIROS, R. M.; BORGES, C. K.; VIEIRA, L. J. S.; FRANCISCO, P. R. M. Análise climatológica da precipitação no município de Cabaceiras - PB, no período de 1930-2011 como contribuição a Agroindústria In: Seminário Nacional da Agroindústria - V Jornada Nacional da Agroindústria, Cabaceiras - Paraíba. 2012.
- MEDEIROS, R. M, BORGES, C. K., VIEIRA, L. J. DOS S., FRANCISCO, P. R. M. Estimativa da erosividade da chuva no período de 1930-2010 no município de Bananeiras, PB uma contribuição a agroindústria In: Seminário Nacional da Agroindústria - V Jornada Nacional da Agroindústria, 2012, Bananeiras - Paraíba.
- MEDEIROS, R. M, FRANCISCO, P. R. M.; VIEIRA, L. J. DOS S; BANDEIRA, M. M. Avaliação do índice da erosividade da chuva no município de Areia - PB no período de 1910 – 2010. INOVAGRI International Meeting. IV WINOTEC Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. 28 a 31 de maio de 2012. Fortaleza-Ceara-Brasil. 2012.
- MEDEIROS, R. M.; MEDEIROS, A. M. T.; LIMA, R. C. Estudo das direções predominantes dos ventos em Gilbués - Piauí, uma contribuição para o desenvolvimento sustentável nas áreas críticas à desertificação e seca In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17, 2011, Guarapari- ES. Anais...Guarapari, CBAGRO, 2011
- MEDEIROS, R. M.; DAL POGGETTO L. R.; ROCHA, F. C. Estudo da direção predominante do vento na Lagoa do Portinho localidade entre os municípios de Luís Correia e Parnaíba– Piauí no período de dezembro de 2008 a fevereiro de 2010. Dilulgação avulsa.
- MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.247-255, 2005.
- MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização dos padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.475483, 2001.

- MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.537-545, 2007.
- MEIS, M. R. M.; COELHO NETTO, A. L.; OLIVEIRA, P. T. T. M. Ritmo e variabilidade das precipitações no vale do rio Paraíba do Sul: o caso de Resende. *Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos*, v.3, 1981.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de São Paulo.
- MENDONÇA, E. A. Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Município de Capim – PB. (Dissertação Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande, p.114, 2008.
- MENDONÇA, F. Clima e planejamento urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do campo termo-higrométrico. In: Monteiro, C. A. de F; Mendonça, F. Clima urbano. São Paulo: Contexto, p.93-120, 2003.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: oficina de Textos, 2005.
- MENDONÇA, F; OLIVEIRA, I. M. D. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2007.
- MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34. p.1029-1039. 2011.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A.V. “Global pattern of trends in stream flow e water availability in a changing climate”. *Nature*, n. 438, n.17, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília: MMA, 2007.
- MIN, S.; ZHANG, X.; ZWIERS; F. W.; HEGER, G. C. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature. Letter.* v.470, p.378, 2011.
- MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. *Rev. bras. meteorol.*, vol.22, n.3, pp.345-353, 2007.
- MINUZZI, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1288–1293, 2010.
- MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 3/4, n. 3, p.117-128, 2008.
- MORAES, B. C. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazonica*. v.35, p.207-214, 2005.
- MORAES, J. M.; GENOVEZ, A.M.; MORTATTI, J.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L. A. Análises e Modelagem de uma Série Temporal de Vazão sob a Influência de Ações Naturais e Antrópicas. In *Anais do XVII Congresso Latino Americano de Hidráulica*. 1996.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. 1995. Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. In *Annales of 20th General Assembly of the European Geophysical Society*, v13, p.506-507.
- MORAIS, L. F. B. Índice de erosividade de chuvas naturais correlacionadas com perdas de solo em três locais do Rio Grande do Sul. (Dissertação de Mestrado). Santa Maria, UFSM, 1986. p.108.

- MORETI, D.; MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v.25. p.137-145. 2003.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia Estatística. CPRM, 552p. 2007.
- NETO, S. S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILA NOVA, N. A. Manual de Ecologia dos Insetos. Ceres, São Paulo, 1976.
- NICHOLSON, S. E. Progress physical geography. In: Sistemas de alerta temprana para casos de sequía y desertificación. OMM-n.906, Ginebra, 1999. 12p.
- NICOLAU, M. R. R. C. Modelação e Distribuição Espacial de Precipitação uma Aplicação a Portugal Continental. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor. Universidade Nova de Lisboa, p.356, 2002.
- NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intra-sazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998 – 2000. *Climanálise*, CPTEC/INPE, São Paulo. Dez, 2001.
- NOGUEIRA, J. C. B. Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas. *Boletim técnico IF*, n.24, p.1-77, 1977.
- NOGUEIRA, V. F. B.; CORREIA, M. F.; NOGUEIRA, V. S. Impacto do Plantio de Soja e do Oceano Pacífico Equatorial na Precipitação e Temperatura na Cidade de Chapadinha - MA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, p.708–724, 2012.
- MORTON, F. I. Operational estimates of areal evapo-transpiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, v. 66, n. 1–4, p.1–76, 1983.
- O'CONNELL, P. E. A case of rationalization of a rain gage network in southwest England. *Water Resources Research*, v.15, n.6, p.1813-1822, 1979.
- O'LOUGHLIN, E. M.; VERTESSY, R. A.; DAWES, W. R.; SHORT, D. L. The use of predictive hydrologic modelling for managing forest ecosystems subject to disturbance. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19. Montreal, 1990. Montreal: IUFRO, v.B, p.252-266, 1990.
- OFFERLE, B.; JONSSON, P.; ELIASSON, I.; GRIMMOND, C. S. B. Urban Modification of the Surface Energy Balance in the West African Sahel: Ouagadougou, Burkina Faso. *Journal of Climate*, v.18, n.19, p.3983-3995, 2005.
- OLIVA, J. Espaço e modernidade: temas da geografia mundial/ Jaime Oliva, Roberto Giansanti. - São Paulo: Atual, 1995.
- OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M.; PEREIRA, A. R. Balanço hídrico como planejamento horti-frutigranjeiro para o município de Lagoa Seca, visando mudanças climáticas. III Encontro de Meio Ambiente UVA/UNAVIDA Desertificação: Implicações socioambientais no Semiárido Brasileiro. 2014.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; COSTA, J. M. N.. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.10. n.1-4. p 57-61. 2002.
- OLIVEIRA, J. B. Manual técnico operativo do PRODHAM. Fortaleza: SRH. 2001.
- OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Barragem subterrânea - Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, p.31, v.3, 2010.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. Lavras-MG, *Rev. Cerne*, 1,p, 64-72, 1994.

- OMETTO, J. C. Bioclimatologia Vegetal. São Paulo: Ceres, 1981. p.400.
- OMM. Organização Meteorológica Mundial. Calculation of monthly and annual 30 - year standard normals. Geneva (WMO). Technical document, v.341; WCDP, n.10. 1989.
- ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, p.71-81. 1987.
- ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba: Potafos, p.249. 1987.
- ORTOLANI, A. A.; PINTO H. S.; PEREIRA, A. R.; ALFONSI, R. R. Parâmetros climáticos e a cafeicultura. Instituto Brasileiro do Café, p.27. 1970.
- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato, p.71-81. 1987.
- PAN-BRASIL "Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca". 2004.
- PARKER, M.J.; WEBER, A.H.; BUCKLEY, R.L. Short Term Climatological Wind Data as a Tool for Wind Forecasting. Weather and Forecasting. American Meteorological Society, Boston, 2004.
- PARR, J. F.; STEWART, B.A.; ORNICK, S. B.; SINGH, R. P. Improving the sustainability of dryland farming system: a global perspective. In, Adv. Soil Science, v.13, p.1-7, 1990.
- PAULA, R. K.; BRITO, J. I. B.; BRAGA, C. C. Utilização da análise de componentes principais para verificação da variabilidade de chuvas em Pernambuco. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais... Belém do Pará, PA. 2010.
- PEDRO JÚNIOR, M. J; MELLO, M. H. A; PEZZOPANE, J. E. M. 1994. Caracterização agroclimática da microbacia Alto Curso do Ribeirão São Domingos (Pindorama). Campinas: Instituto Agrônomo, 27p. (Boletim Técnico, 150).
- PEIXOTO, J. P. Curso de Meteorologia. Serviço Meteorológico Nacional, Lisboa, 1969.
- PELIZZOLI, M. L. A emergência do paradigma ecológico: Reflexões éticofilosóficas para o séc. XXI. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, p.160, 1999.
- PEREIRA, A R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, p.478, 2002.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, p.105-129, 2002.
- PEREIRA, A. R.; MEDEIROS, R. M.; OLIVEIRA, R. C. S. Erosividade da chuva em Camalau - PB, visando o desenvolvimento de manejos do solo. III Encontro de Meio Ambiente UVA/UNAVIDA Desertificação: Implicações socioambientais no Semiárido Brasileiro. 2012.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, p.183.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Estimativa de evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.41-99, 1997.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 183p, 1997.
- PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. *Revista do Departamento de Geografia*, v.17, p.30-37. 2005.

- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A F. M (Eds). Conceito de bacias hidrográficas, teoria e aplicação. Editora da UESC, Ilhéus, BA, p.289. 2002.
- PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, v. 100, n. 2, p.81-92, 1972.
- RAJAGOPAL, A. K.; TEITLER, S.; SINGH, V. P. Some new perspectives on maximum entropy techniques in water resources research. In: Singh, V. P. (Ed) Hydrologic frequency modeling. Dordrecht: D. Reijel Publishing, p.247-366, 1987.
- RANZANI, G. Solos e aptidão agrícola das terras do município de Palmas – Tocantins. Palmas: Unitins, 2002.
- RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. *Journal of Hydrology*, v.318, p.57-79, 2006.
- REGO, I. Sociedade Economia: estratégias de crescimento e Desenvolvimento. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [livraria@ipea.gov.br](mailto:livraria@ipea.gov.br)
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Barueri (SP): Manole, 1990.
- RNA. Rede Nacional de Agrometeorologia. Mapas de precipitação mensal do Estado do Piauí. <http://www.agricultura.gov.br/rna>.2003.
- RODRIGUES, J. O. Equações de intensidade duração frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. *Revista Scientia Agraria*, v. 9, n. 4, p.511-519, 2008.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia: Meio Ambiente e Planejamento. 7ª Ed. São Paulo: Contexto. 2003.
- RUHE, R. V. Geomorphology (geomorphic processes and superficial geology). Boston: Houghton Mifflin, p.246. 1975.
- SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. In: Carta CEPRO, Teresina, v.18. n.1. p.149-161. 2000.
- SALVADOR, J. G. L. Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios. São Paulo: CESP, Série Divulgação e Informação, SBS/SBEF, v.3, p.308-312, 1990.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro. 1997.
- SAMPAIO, G. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, v.34. p.1-7. 2007.
- SAMPAIO, M. V. Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do rio grande do sul. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, p.156. 2011.
- SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: Comparison of regionalization methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.16, p.447, 2011.
- SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do Clima: Gênese, paradigmas e aplicação do clima como fenômeno geográfico. In: Anpege, v.4, 2008.

- SANTANA, J. A. S.; SANTANA JÚNIOR, J. A. S.; SOUTO, J. S.; MACÊDO, A. B. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite da Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte – RN. *Brasil. Florestal*, v.23, n.80, p.9-16, 2004.
- SANTANA, M. O.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A., SILVA, D. D. Caracterização da estação chuvosa para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15. n.1. p.114-120. 2007.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22. n.3. p.303-312. 2007.
- SANTOS, D. C.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; BRITO, J. I. B. Balanço Hídrico Climatológico e Erosividade em Função das Mudanças Climáticas em Santa Filomena – PI/Brasil. *Revista Pernambucana de Tecnologia*, Recife, v.2. n.2. p.29–37. 2014.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14. n.2. p.115-123. 2010.
- SANTOS, R. F. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. Cap. 5. p.71-108.
- SEABRA, M. S. Estudo sobre a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul em bacias hidrográficas nas regiões sudeste e centro-oeste, Tese de M.Sc., Curso Interdisciplinar de Ciências Atmosféricas, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2004,
- SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no Estado de Minas Gerais. *Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v.6, n.1, p.57-61, 1998.
- SEDIYAMA, G. C.; DELAGADO, R. C.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. C. Modelos para prognósticos da umidade relativa do ar em escala horária no município de Muriaé, MG. *Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do SUL*, p. 295-300, Taubaté. 2007.
- SEIFFERT, N. F. Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em microbacias hidrográficas. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) UFSC/Centro Tecnológico, Florianópolis, 1996.
- SEMARH. Plano estadual de recursos hídricos do Estado da Paraíba. Governo do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2003.
- SENTELHAS, P. C.; MARTA, A. D.; ORLANDINI, S.; SANTOS, E. A.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L. Suitability of relative humidity as na estimator of leaf wetness duration. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.392-400, 2008.
- SEVRUK, B.; NESPOR, V. Empirical and theoretical assessment of the wind induced error of rain measurement. *Water Science e Technology*, v.37, n.11, p.171-178, 1998.
- SEVRUK, B.; NEVENIC, M. The geography and topography effects on the areal pattern of precipitation in a small prealpine basin. *Water Science e Technology*, v.37. n.11. p.163-170, 1998.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. The mathematical theory of communications. Urbana: University Illinois Press, p.125. 1948.
- SIERRA, E. M.; MURPHY, G. M. 1973. Aspectos bioclimáticos del cultivo del sorgo. Viedna: IDEVI, p.28-54. (Série Técnica, 3).
- SILVA, M. Encarnação Beltrão. Capitalismo e urbanização. 14. ed. São Paulo: Contexto, 1993.
- SILVA, J. B.; ZANUSSO, J. F.; SILVEIRA, D. L. M. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.2, p.227-235, 1997.14

- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RiMa, p.320, 2003.
- SILVA, A. P. L. M. Avaliação hidrológica e meteorológica para a transposição de águas da bacia do rio São Francisco, Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2004.
- SILVA, B. A. W.; AZEVEDO, M. M.; MATOS, J. S. Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanas. Revista Vera Cidade, v.3, n.5, 2006.
- SILVA, A. M.; COSTA; D. L. C. R.; LINS, C. J. C. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. Anais...: Semana do Meio Ambiente. 2008 - Recife, PE.
- SILVA, I. A. de SOUSA; SILVA, J. C. B. da; SILVA, K. A. e. Estudo da desertificação em Gilbués – Piauí: Caracterização física, variabilidade climática e impactos ambientais. I SIREGEO, Simpósio Regional de Geografia do Cerrado, Barreiras, BA. p. 331-343, 2010.
- SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; MEDEIROS, S. R. R. Correlação entre as Temperaturas da Superfície do Mar e a quantidade da precipitação na estação chuvosa no Nordeste do estado de Pernambuco. Rev. bras. meteorol., vol.26, n.1, pp.149-156, 2011.
- SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife - PE, p.1463-1475, 2013.
- SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife - PE, p.1463-1475, 2013.
- SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; TAVARES A. L.; PATRÍCIO, M.C. M.; BORGES, C. K. Avaliação do índice da erosividade da chuva no município de cabaceiras visando à captação pluvial. 8º Simpósio Brasileiro de Captação e manejo de água de chuva, 14 a 17 de agosto de 2012, Campina Grande – PB.
- SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife - PE, p.1463-1475. 2013.
- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. Journal of Arid Environments n.58. p.575-596, 2004.
- SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; NASCIMENTO, M. G. e CAMPOS, J. H. B. C. Análise da precipitação pluvial no Estado da Paraíba com base na teoria da entropia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7. n.2. p.269-274. 2003.
- SINGH, V. P. The use of entropy in hydrology and water resources. Hydrological Processes, v.11, n.1, p.587-626, 1997.
- SLEIMAN, J, SILVA, M. E. S. A Climatologia de Precipitação e a Ocorrência de Veranicos na Porção Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. SIMPGEO/SP, Rio Claro. 2008.
- SMAKHTIN, Vladimir U. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology, Amsterdam. v.240, p.147-186, 2001.
- SONUGA, J. O. Entropy principle applied to the rainfall-runoff process. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.30, n.1, p.81-94, 1976.
- SORIANO, B. M. A. Caracterização climática de Corumbá - MS. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, EMBRAPA-CPAP. Boletim de Pesquisa, p.25, 1997.

- SORIANO, B. M. A. Caracterização climática de Corumbá-MS. Boletim de Pesquisa, 11. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, p.25, 1997.
- SOUSA, E. F. Modelo computacional aplicativo ao manejo e planejamento de irrigação. Viçosa: Dissertação Mestrado. UFV. p.65, 1993.
- SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do atlântico tropical. Revista Brasileira de Meteorologia, 13(2), p.45-55. 1998.
- SOUSA, E. S.; LIMA, F. W. B.; MACIEL, G. F.; SOUSA, J. P.; PICANÇO, A.P. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite para a cidade de Palmas-TO. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA, Anais on-line, 2010.
- SOUZA FILHO, F. A. Variabilidade e Mudança Climática nos Semiáridos Brasileiros. In: TUCCI, C. E. M; BRAGA, B. (Org.). Clima e Recursos Hídricos no Brasil. Porto Alegre. ABRH. p.348. 2003.
- SOUZA, L. R.; CUNHA, A. C.; BRITO, D. C. Aplicação do sistema hidrológico IPHS1 no estudo de chuva-vazão em aproveitamentos hidrelétricos na bacia hidrográfica no alto e médio Araguari. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. E.; CUNHA, H. F. A. (Org.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá, IEPA, p.216, 2010.
- SPERLING, E. V. Afinal, quanta água temos no planeta. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.11. n.4. p.189-199. 2006.
- TEIXEIRA, A.C.O. Alterações no uso da terra das bacias do baixo rio de contas e Gongogi e regime hidrológico do rio Gongogi – BA. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA. 2009. 120p.
- STEINKE, E. T. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. Tese (Doutorado) - publicação ECO. TD, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF. p.196. 2004.
- STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. Solar Energy, v.51. n.4. p.289-291. 1993.
- STRANG, D. M. G. Análise climatológica das normas pluviométricas do Nordeste do Brasil. São José dos Campos – CTA/IAE. p.70. 1972.
- STURM, M.; PEROVICH, K. E.; SERREZA, M. C. O Acelerado Derretimento do Norte. In: Scientific American Brasil. n.12, p.34-41, 2005.
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Paraíba. Recife, 1990 (Série Pluviometria, 2).
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Piauí. Recife, 1990 (Série Pluviometria, 2).
- SUDENE. Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estado do Piauí. Recife, 1990.
- TAMMETS, T; JAAGUS, J. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. Theoretical and Applied Climatology. v.111. n.3-4. p.623-639. 2013.
- TEIXEIRA, A. H. C.; SILVA, B. B. Balanço hídrico seriado de Petrolina, Pernambuco. In: Anais Conferência Internacional Sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva,. Petrolina – PE. p.49-60,z 1999
- TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; SIQUEIRA, G. A.; BACELAR, L. C. S. D. Vazão máxima de projeto: Metodologia para dimensionamento de bueiros em áreas agrícolas. Teoria e Prática na Engenharia Civil. n.17, p.49-56, 2011.

- THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. Aspectos Climáticos de Guarapuava - PR. Guarapuava: UNICENTRO, 2003.
- THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, n.1, p.55-94. 1948.
- THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, p.104, 1955.
- TRENBERTH, K.E. General Characteristics of El Niño Southern Oscillation In: GLANTZ, M.H., RICHARD, W.K., NICLHOLLS, N. Teleconnection linking worldwide climate anomalies. New York, Cambridge University. p. 13 – 42, 1991.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, T. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações. São Paulo: Nobel, p.221, 1987.
- TUCCI, C. E. M. "Modelos Hidrológicos" Editora da ABRH, p.669, 1998.
- TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (ed.) Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora Distribuidora de Livros, p.475-508, 2000.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. p.943, 1993.
- TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos. Brasília: ANA, p.150. Relatório Técnico, 2002.
- TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. 1ed. Porto Alegre: UFRGS, p.678, 2005.
- TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS – RS, 2002.
- TUCCI, C. E. M. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Algoritmo de Infiltração. In: III simpósio brasileiro de recursos hídricos, 1979, Brasília. III simpósio brasileiro de recursos hídricos. São Paulo: ABRH, v.2. p.553-570. 1979.
- TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E.; PASINATO, H. Sistema de simulação precipitação-vazão iphs1. Porto Alegre: Recursos Hídricos n.20. IPH-UFRGS, (Publicação Aperiódica), 1998.
- TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. "Clima e Recursos Hídricos no Brasil". Porto Alegre: ABRH. 2003.
- TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas, 1ª edição, ABRH/ RHAMA, Porto Alegre, 2007.
- UFOEGBUNE, G. C.; YUSUF, H. O.; ERUOLA, A. O. Awomeso, J. A. Estimation of Water Balance of Oyan Lake in the North West Region of Abeokuta, Nigeria. *British Journal of Environment e Climate Change*, v.1, n.1, p.13-27, 2011.
- UK MET OFFICE. Climate change, rivers and rainfall. Recent research on climate change science from the Hadley Centre, 2005.
- UNESCO. Mexico City Declaration on Cultural Policies World Conference on Cultural Policies Mexico City, 26 July - 6 August, 1982.
- UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos, 1989.
- VARGAS, M. G. Conflitos sociais e sócio-ambientais: Proposta de um marco teórico e metodológico. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, p 191-203, 2007.

- VALIATI, M. I.; DUTRA, I.; CUNHA, A. R. da; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da evapotranspiração potencial em ambiente protegido utilizando o método do Tanque Classe A e de Penman-Monteith. In: Anais Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria – RS: SBA, 2003, p.63-64.
- VAREJÃO SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia, 2ª edição, Pax gráfica e editora, 532 p., Brasília – DF, 2001.
- VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. 2001. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife: COTEC/DATA AGROS/SPRRA-PE, p.38. (Relatório Técnico).
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Brasília: INMET, Gráfica e Editora STILO. p.532, 2000.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife. 2005.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Umidade relativa do ar. In: Varejão-Silva, M. A. Meteorologia e climatologia. Recife: Versão Digital, 2, p.133-155, 2006.
- VEITH, T. L.; LIEW, M. W. VAN; BOSCH, D. D; ARNOLD, J. G. Parametr sensitivity and uncertainty in SWAT: A comparison across five USDA-ARS water sheds. Transactions of the asabe, v.53, p.1477-1486, 2010.
- VENDRAMINI, E. Z. Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu: UNESP, 1986.
- VESTENA, L. R. Balanço hídrico da bacia do Rio Ribeirão da Onça, no Município de Colombo - PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFPR, Curitiba, p.103, 2002.
- VESTENA, L. R.; LANGE, G. L. Balanço hídrico da bacia do Rio Ernesto, Pitanga / PR – Brasil. Revista Terr@Plural, Ponta Grossa, v.2 n.2, p.323-335, 2008.
- VIANA, M. VIRGÍLIO; PINHEIRO, LEANDRO A F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. Série Técnica IPEF v.12 n.32, p25-42, dez. 1998.
- VIANA, P. C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas com base em um modelo digital de elevação para o Estado do Ceará. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, Instituto Federal de Educação e Ciência Tecnologia, Campus Iguatu - CE, 2010.
- VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. 1991. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV. p.449.
- VIEGAS, J. S. F.; TUCCI, C. E. M.; VILLANUEVA, A.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R.; DAMÉ, R. C. F. Manual do Usuário versão Beta 2.11. Porto Alegre: IPH-UFRGS e ALM/FEA /IMF - UFPel,. p.46. 2004.
- VOLPE, C.A.; SCHÖFFEL, E.R. Quebra-vento. In: RUGGIERO, C. Bananicultura, Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.196-211
- WEI, W.; CHEN, L.; FU, B.; HUANG, Z.; WU, D.; GUI, L. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. Journal of Hydrology, v.335, p.247-258, 2007.
- WISCHMEIER, W .H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmaland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, n.26, p.189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W. H. Storms and soil conservation. Journal of Soil and Water Conservation, v.17, p.55-59, 1962.

- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, p.58, 1978.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p, 1978.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, v.39, n.2, p.285-291, 1958.
- WMO. World Meteorological Organization. Guide to Climatological Practices. Third Edition (draft). WMO No 100, Geneva: WMO. 2009.
- WMO. Organização Meteorológica Mundial.. Calculation of monthly and annual 30 - year standard normals. Geneva. WMO Technical document, n. 341; WCDP, n.10, 1989.
- XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, Região Agreste de Alagoas. Revista de Geografia, v.14, n.2, 2005.
- XAVIER, T. M. B. S. 2001. “Tempo de chuva” Estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional. ABC Editora, Fortaleza, 478 pp.
- ZANELLA, M. E. Inundações Urbanas em Curitiba/PR: Impactos, riscos e vulnerabilidade socio-ambiental no bairro Cajuru. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, 2006.
- ZEPKA, G. dos S. Análise do Balanço hídrico para a cidade de Pelotas, RS. In: Anais XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR, 2002. p.83-89.

## CURRICULUM DOS AUTORES

**Enilson Palmeira Cavalcanti:** Possui graduação em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (1981), mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (1986) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (2001). Atualmente é professor de ensino superior (associado IV) da Universidade Federal de Campina Grande. Ex-Coordenador Administrativo da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da UFCG e Ex-Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG. Participou como estatuinte da elaboração do Estatutos da UFCG. Tem experiência na área de Geociências e Ciências Ambientais, com ênfase em Meteorologia e Recursos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Vapor D'água na Atmosfera, Energética, Sensoriamento Remoto e Climatologia.

**Francisco de Assis Salviano de Sousa:** Possui graduação em Bacharelado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (1984), mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (1991) (nível 7) e doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (1996) (nível 7). Atualmente é Professor Associado IV da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Hidrologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Hidrometeorologia, modelagem hidrológica, climatologia física e estatística do Nordeste.

**Hudson Ellen Alencar Menezes:** Possui graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (2003), graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2012), mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (2006) e doutorado em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (2010). Atualmente é meteorologista da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Climatologia, Agrometeorologia e Matemática Aplicada atuando principalmente nos seguintes temas: precipitação, temperatura da superfície do mar, El Niño, Dipolo do Atlântico, veranico, produtividade agrícola, regressão e coeficiente de determinação.

**José Ivaldo Barbosa de Brito:** Professor Associado da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. Graduado em Meteorologia, Mestrado em Meteorologia e Doutorado em Recursos Naturais na área de concentração Recursos Hídricos. Orientador de Doutorado, Mestrado, Especialização, Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Graduação. Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em Meteorologia. Atuando principalmente nos seguintes temas: Extremos Climáticos, Variabilidade e Mudanças Climáticas, Desertificação, Recursos Hídricos, Clima do Semiárido do Nordeste, Subúmido Seco do Cerrado, Tropical Chuvoso da Amazônia Ocidental e Temperado do Rio Grande do Sul.

**Manoel Francisco Gomes Filho:** Bachelor Science, (Physic) from Universidade Católica de Pernambuco (1974), Master's at Meteorology from Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1979) and Doctorate at Natural Resources from Universidade Federal da Paraíba (2000). Has experience in Geosciences, focusing on Meteorology, acting on the following subjects: Dynamic Meteorology, Physical Oceanography, Climate changes and Applied Meteorology.

**Milla Nóbrega de Menezes Costa:** BACHAREL (2012), MESTRE (2014) e DOUTORANDA em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de GEOCIÊNCIAS, com ênfase em METEOROLOGIA. Atua nas áreas de Interação Oceano - Atmosfera; Física da Atmosfera (Dinâmica e Termodinâmica); Modelagem Numérica; Análise Multivariada. Tem experiência em: Bacias Hidrográficas, Mudanças Climáticas, Eventos Extremos (Precipitação Intensa, Granizo, Tornados), Desastres Naturais.

**Raimundo Mainar de Medeiros:** Doutorando em Meteorologia (2011) Universidade Federal de Campina Grande; Mestrado (1990) em Meteorologia Universidade Federal da Paraíba; Graduado em Meteorologia (1985) Universidade Federal da Paraíba; Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (2005) Universidade Federal do Piauí; Curso de especialização em Ciências Ambientais (2003), Universidade Federal do Piauí. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia Dinâmica e Sinótica, atuando principalmente nos seguintes temas: Vapor da água, água precipitável, divergência, interpretação de imagens de satélites, previsão de tempo. Exerceu na Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí, o Cargo de Gerente de hidrometeorologia, símbolo DAS-3, no período de 06 de outubro de 2003 a 31 de dezembro de 2010. Prestação de serviço na Secretaria do Desenvolvimento Rural - SDR, no Departamento de Hidrometeorologia, no período de 01 de janeiro de 1995 a 31 de dezembro de 1999. Estudos climatológicos para: Construções de pontes; barragens de pequeno, médio e grande porte; adutoras; floricultura; psicultura; apicultura; carcinicultura; olericultura; hortaliças; contenção de dunas; urbanização; reflorestamento; produção agrícola; posto de combustível; esgotamento sanitário; abastecimento; abate-douro; geração de Biodiesel; aeródromo; boletim agrometeorológico. Consulto da Agroconsult LTDA no período de

*2002 a 2009; Elaboração de estudos climáticos para reflorestamento com Eucaliptus para a empresa SUSANO; Consultor da CONSPLAN no controle Ambiental das dunas da Lagoa do Portinho. Elaboração, diagnósticos e prognóstico do balanço hídrico normal; climatológico; decenal e diários. Classificação e Aptidão Agroclimática de Culturas. Assessoria e consultoria; Assessoria e consultoria ao I Workshop Internacional sobre a água no semiárido brasileiro, 2013; Assessoria e consultoria a Revista Pesquisa Agropecuária Tropical como consultor 'ad hoc', (2013).*