

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



**Tese de Doutorado**

**Raimundo Mainar de Medeiros**

**ANÁLISE DE ASPECTOS CLIMÁTICO,  
SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL E SEUS EFEITOS  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO  
E ENTORNO**

**Campina Grande, Fevereiro de 2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



## **TESE DE DOUTORADO**

**ANÁLISE DE ASPECTOS CLIMÁTICO, SOCIOECONÔMICO E  
AMBIENTAL E SEUS EFEITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
URUÇUÍ PRETO E ENTORNO**

**ALUNO: Raimundo Mainar de Medeiros**

**LINHA DE PESQUISA: Meteorologia de Meso e Grande Escala**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos Hídricos**

**ORIENTADOR: Manoel F. Gomes Filho**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**Fevereiro - 2016**

# **TESE DE DOUTORADO**

## **ANÁLISE DE ASPECTOS CLIMÁTICO, SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL E SEUS EFEITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO E ENTORNO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, na área de concentração Meteorologia de Meso e Grande Escala em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Manoel F. Gomes Filho

**ALUNO: Raimundo Mainar de Medeiros**

**LINHA DE PESQUISA: Meteorologia de Meso e Grande Escala**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos Hídricos**

**ORIENTADOR: Manoel F. Gomes Filho**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**Fevereiro - 2016**



RAIMUNDO MAINAR DE MEDEIROS

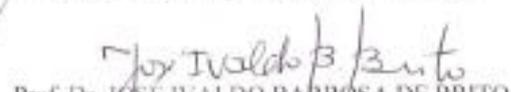
ANÁLISE DE ASPECTOS CLIMÁTICO, SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL E  
SEUS EFEITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUI PRETO E  
ENTORNO

TESE APROVADA EM 19/02/2016

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. JOSE IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. DAISY BESERRA LUCENA  
Departamento de Geociências  
Centro de Ciências Exatas da Natureza  
Universidade Federal da Paraíba

  
Prof. Dr. GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA  
Departamento de Agronomia  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

O Senhor já ouviu a minha súplica,  
o Senhor aceitará a minha oração.  
Salmo 6:9

## AGRADECIMENTO

A DEUS, o ser supremo, pela minha existência;

À memória de meus Pais, Joaquim e Alaíde;

Ao orientador e amigo Manoel Francisco Gomes Filho, pela orientação e ajuda;

Às CHESF, COMDEPI e EMATERPI, pelo fornecimento dos dados e informações utilizadas neste estudo;

A Adolfo Morais Junior e Humberto Mendes Feitosa, pela ajuda em materiais e sugestões;

A Eyres Diana Ventura Silva, pela elaboração dos programas computacionais;

Em especial a:

Antonia Medeiros;

Claudete Regane da Silva Dantas;

Divanete Rocha Cruz;

Francisco de Assis da Costa Neto.

Francisco de Assis Salviano de Sousa;

Hudson Ellen Alencar Menezes

Flavio de Oliveira Cipriano

Joel da Silva (Observador meteorológico do INMET Teresina);

José Ivaldo Barbosa de Brito;

Leandro Fontes de Sousa;

Lindenberg Lucena da Silva;

Lucia Maria Viana de Oliveira;

Milla Nóbrega de Menezes Costa;

Regineide Batista Jatobá;

Valneli da Silva Melo;

Vicente de Paula Rodrigues da Silva.

Aos professores do DCA/UACA, pela contribuição direta e indireta, no desenvolvimento desta pesquisa e a todos os parceiros e colegas que de certa maneira contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

## RESUMO

A bacia hidrográfica do Rio Uruçuí Preto (BHRUP) se destaca na produção de soja, milho e mandioca em áreas nativas e artificiais. Esta bacia sofre grandes impactos ambientais com o desmatamento de extensas áreas para as atividades agrícolas, minerais e pastoris, além dos impactos por fenômenos naturais, como voçorocas e desertificações, exigindo, portanto, medidas para atenuação dos referidos efeitos da degradação e da desertificação.

Nesse trabalho propostas de ações foram apresentadas sobre os monitoramentos hídricos, replantios das espécies arbóreas naturais, reintrodução das espécies arbóreas nativas, tal como uma nova visão do planejamento urbano e turístico, programas de especulações imobiliárias e a implantação de novas indústrias nas fazendas agrícolas que não agridam o meio ambiente.

Utilizou-se dados de Precipitação; Temperatura do ar; Umidade relativa do ar; Nebulosidade; Vento: direção e velocidade; Evaporação e evapotranspiração; Insolação total para o período entre 1960-1990. No Modelo hidrológico IPH2 foram efetuados ajustes, calibração e verificação do modelo; também foram utilizados Modelos de médias móveis; Método do preenchimento de falhas; Classificação climática de Köppen; Categoria de clima; Divisão entre clima úmido e seco; Clima do tipo a – subcategorias; Clima do tipo b - subcategorias; Clima do tipo c - subcategorias; Divisões desta subcategoria (c).

A área de estudo apresentou significativa heterogeneidade climática, possibilitando gerar cenários variados em relação à disponibilidade e demanda hídrica. O fator clima atuou dinamicamente em conjunto 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 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 àquelas 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.

Verificou-se que a poluição hídrica, a distribuição pluviométrica, o uso e o manejo do solo na agropecuária afetam a pesca, por ocorrer deposição de sedimentos e assoreamentos nos córregos, rios, lagos e lagoas, a antropização das paisagens, alterações dos microclimas, impermeabilização do solo, erosão, desertificação, queimadas e a redução da biodiversidade.

**Palavras-chaves:** Anomalias extremas de chuva e clima, degradação ambiental e poluição hídrica.

## ABSTRACT

The Uruçuí Preto river basin (BH RUP) stands out in the production of soybeans, corn and cassava in native and artificial areas. This basin suffers major environmental impacts deforestation of large areas for agricultural, mineral and pastoral, in addition to the impacts of natural phenomena such as gullies and desertification, thus requiring measures for mitigation of these effects of degradation and desertification.

In this work action proposals were presented on water monitoring, replanting of natural tree species, reintroduction of native species, such as a new vision of tourism and urban planning, real estate speculation programs and the establishment of new industries in the agricultural farms that do not harm the environment.

It was used rainfall data; Air temperature; Relative humidity; Cloudiness; Wind: direction and speed; Evaporation and evapotranspiration; Total insolation for the period between 1960-1990. In hydrologic model IPH2 were made adjustments, calibration and verification of the model; Models were also used to calculate form moving averages; gap filling method; Koppen climate classification; climate category; Division between wet and dry climate; kind of weather to - subcategories; Climate type b - subcategories; Climate type c - subcategories; Divisions of this subcategory (c).

The study area presented significant climatic heterogeneity, allowing generate different scenarios regarding the availability and water demand. The climate factor acted dynamically along with other attributes of the physical and biotic environment, and is decisive for the occurrence of significant internal geo-environmental distinctions to the basin, including ecological differences and even influences in cultural and ways of natural resource use patterns.

The IPH II model fulfilled the task of simulating the average daily flow, but in three cases was not very efficient to represent the peak (maximum and minimum) flow rates. Without loss of generality, this modeling can be used in basins with similar characteristics to those presented by BHRUP, especially if there are no requirements on the suitability of extreme values. In addition it was made a simulation of BHRUP with land use in 100% pasture. In this case, there would be an increase in soil moisture, a result that would increased flood peaks with more severe and frequent floods.

It was verified that water pollution, rainfall distribution, use and soil management in agriculture affect fishing, as well as occurring sediment deposition and silting in streams, rivers, lakes and ponds, anthropic landscapes, changes in microclimates, soil sealing, erosion, desertification, fires and loss of biodiversity.

**Keywords:** Extreme anomalies in rain and climate, environmental degradation and water pollution.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> .....	1
Introdução e objetivos .....	1
1.1. Objetivo geral .....	2
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Estrutura da tese .....	3
<b>Capítulo 2</b> .....	5
Fundamentação e revisão bibliográfica.....	5
2. Sistema de Tempo e Clima.....	5
2.1. Contextualização macrorregional .....	5
2.2.1. Sistema Sinótico .....	22
2.2.1.1. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	23
2.2.1.2. Vórtices Ciclones de Ar Superior (VCAS).....	24
2.2.1.3. Frentes Frias (FF) .....	29
2.2.1.4. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) .....	31
2.2.1.5. Linha de Instabilidade (LI) .....	32
2.2.1.6. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	33
2.3. Sistemas Atmosféricos e Oceânicos .....	36
2.3.1. Enos .....	36
2.3.2. Dipolo do Atlântico .....	36
2.3.3. Oscilação de Madden-Julian.....	37
2.3.4. El Niño e La Niña .....	38
2.3.5. Descrição do El Niño .....	38
2.3.6. Impactos do El Niño no globo e no estado do Piauí.....	39
2.3.7. Descrição da La Niña.....	41
2.3.8. Impacto da La Niña no globo e no estado do Piauí .....	42
<b>Capítulo 3</b> .....	45
Materiais e métodos .....	45
3.1. A bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto .....	45
3.2. Dados.....	50
3.2.1. Precipitação .....	50
3.2.2. Temperatura do ar.....	54
3.2.3. Umidade relativa do ar .....	56
3.2.4. Nebulosidade .....	57
3.2.5. Vento: direção e velocidade .....	58
3.2.6. Evaporação e evapotranspiração .....	64
3.2.7. Insolação total.....	67
3.3. Modelo hidrológico IPH2 .....	68
3.3.1. Ajuste e calibração do IPH2 .....	72
3.3.2. Verificação do modelo.....	72
3.3.3. Dados observados .....	73
3.3.4. Modelos médias móveis .....	73
3.3.5. Método do preenchimento de falhas.....	73
3.3.6. Classificação climática de Köppen .....	75
3.3.7. Categoria de clima .....	75
3.3.8. Divisão entre clima úmido e seco .....	76
3.3.9. Clima do tipo a – subcategorias.....	77
3.3.10. Clima do tipo b - subcategorias .....	77
3.3.11. Clima do tipo c - subcategorias .....	78

3.3.12. Divisões desta subcategoria (c): .....	78
<b>Capítulo 4</b> .....	81
Resultados e discussão .....	81
4. Diagnóstico sócioeconômico e ambiental .....	81
4.1. Impactos ambientais .....	84
4.2. Fruticultura e cereais .....	84
4.3. Produção de animais e estabelecimentos agrícolas, da apicultura e a ovinocaprinocultura	86
4.4. Transporte e renda .....	89
4.5. Ações de melhoramento da qualidade de vida e caracterizações do sistema de educação e da saúde pública .....	90
4.6. Cobertura e uso do solo .....	94
4.2. Aspectos climáticos e hidrológicos da bacia do rio Uruçuí Preto .....	95
4.2.1. Temperaturas máxima, mínima, média e amplitude térmica .....	97
4.2.1.1. Os b-r-o-bros e suas variações no estado do Piauí .....	97
4.2.2. Evaporação e evapotranspiração .....	102
4.2.3. Umidade relativa do ar .....	106
4.2.4. Insolação total e nebulosidade.....	108
4.2.5. Direção predominante e intensidade do vento .....	111
4.2.6. Vazão observada, vazão estimada e precipitação para a área da BHRUP .....	113
4.2.7. Vazão observada e vazão estimada pelo método da média móvel, para 5 e 10 anos para a área da BHRUP .....	117
4.2.8. Cálculo da evaporação para a área da BHRUP .....	119
<b>Capítulo 5</b> .....	123
Conclusões e sugestões.....	123
Os temas a seguir são sugestões para trabalhos futuros: .....	125
Referências .....	127

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Regimes e principais fatores provocadores de chuva no estado do Piauí. ....	6
<b>Figura 2.</b> Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I – ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste. (Fonte: Strang, 1972). ....	23
<b>Figura 3.</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto no estado do Piauí (escala 1:1.000.000). Adaptada por Medeiros (2014). ....	45
<b>Figura 4.</b> Divisores superficial de água, situação geográfica; evapotranspiração anual, precipitação anual, vazões dos trimestres mais chuvosos e secos, área da bacia; declividade média; extensão; cota, solos e vegetação, para a área da BHRUP. ....	48
<b>Figura 5.</b> Regime de umidade relativa do ar do trimestre mais úmido para o estado do Piauí. Fonte: Autor. ....	57
<b>Figura 6.</b> Precipitação (mm): (a) mínima; (b) máxima; (c) quadrimestre chuvoso; (d) quadrimestre seco; (e) e anual. ....	96
<b>Figura 7.</b> Ciclo anual da temperatura média da máxima, máxima da máxima e mínima da máxima para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	98
<b>Figura 8.</b> 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. Período: 1960-1990. ....	99
<b>Figura 9.</b> Ciclo anual da temperatura média das mínimas, média máxima das mínimas e média mínima das mínimas para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	99
<b>Figura 10.</b> Variabilidade espacial da temperatura médias mensais das mínimas: (a) menor temperatura mínima mensal; (b) maior temperatura mínima mensal; (c) média anual das temperaturas mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período 1960-1990. ....	100
<b>Figura 11.</b> Ciclo anual da amplitude térmica média, amplitude térmica da média das máximas e amplitude térmica da média das mínimas, para a BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	101
<b>Figura 12.</b> Amplitude térmica espacial (a) do mês mais frio; (b) do mês mais quente; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e do seu entorno. Período: 1960-1990. ....	102
<b>Figura 13.</b> Evaporação média; evaporação média máxima e evaporação média mínima, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	103
<b>Figura 14.</b> Variabilidade espacial da evaporação (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e entorno: Período: 1960-1990. ....	104
<b>Figura 15.</b> Evapotranspiração média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	105
<b>Figura 16.</b> Variabilidade espacial da evapotranspiração: (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990. ....	106
<b>Figura 17.</b> 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. ....	107
<b>Figura 18.</b> Variabilidade espacial da umidade relativa do ar (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990. ....	107
<b>Figura 19.</b> Ciclo anual da insolação total média das máximas; insolação total média das médias e insolação total média das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	108
<b>Figura 20.</b> Variabilidade espacial da insolação total (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990. ....	109
<b>Figura 21.</b> Ciclo anual da cobertura de nuvem média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	110
<b>Figura 22.</b> Variabilidade espacial da cobertura de nuvens: (a) mínima; (b) máxima; (c) e anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990. ....	110

<b>Figura 23.</b> Ciclo anual da intensidade do vento média das máximas; intensidade do vento média das médias e intensidade do vento média das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990. ....	111
<b>Figura 24.</b> Variabilidade espacial da intensidade do vento (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990. ....	112
<b>Figura 25.</b> (a) Direção média dos ventos predominante mensal e anual; (b) Direção média dos ventos predominante mensal e anual para o período chuvoso; (c) Direção média dos ventos predominante mensal e anual, para o período seco da BHRUP. ....	113
<b>Figura 26.</b> Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Bom Jesus, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	114
<b>Figura 27.</b> Vazão Observada, vazão estimada e precipitação, para o município de Cristino Castro, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	114
<b>Figura 28.</b> Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Barreiras do Piauí, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	115
<b>Figura 29.</b> Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Manoel Emidio, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	116
<b>Figura 30.</b> Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Santa Filomena, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	116
<b>Figura 31.</b> Vazões: observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Bom Jesus, localizado na área de entorno da BHRUP. ....	117
<b>Figura 32.</b> Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Cristino Castro, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	118
<b>Figura 33.</b> Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Barreiras do Piauí, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	118
<b>Figura 34.</b> Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emidio, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	119
<b>Figura 35.</b> Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Santa Filomena, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	119
<b>Figura 36.</b> Evaporação calculada para o município de Bom Jesus, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	120
<b>Figura 37.</b> Evaporação calculada para o município de Cristino Castro, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	120
<b>Figura 38.</b> Evaporação calculada para o município de Barreiras do Piauí, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	121
<b>Figura 39.</b> Evaporação calculada para o município de Manoel Emidio, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	121
<b>Figura 40.</b> Evaporação calculada para o município de Santa Filomena, localizado no entorno da área da BHRUP. ....	122

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Localização dos postos pluviométricos e dos municípios que estão alocados aos referidos postos, seguidamente de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais.....	49
<b>Tabela 2.</b> Determinação da velocidade do vento utilizando a escala “beaufort”.....	59
<b>Tabela 3.</b> 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. ....	66
<b>Tabela 4.</b> Parametrização do modelo de escoamento superficial IPH2.....	72
<b>Tabela 5.</b> Classificação climática segundo Köppen para a área em estudo.....	79
<b>Tabela 6.</b> Localizações dos municípios seguidos de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais, área territorial e população.....	82
<b>Tabela 7.</b> Produção de cereais e frutas por município para a área da BHRUP e seu entorno. ....	85
<b>Tabela 8.</b> Produção animal por município para a área da BHRUP e seu entorno. ....	87
<b>Tabela 9.</b> Quantidade de proprietários, assentado sem titulação definitiva, arrendatário, parceiro, ocupante e produtor por município, para a área da BHRUP e seu entorno. ....	88
<b>Tabela 10.</b> População, densidade populacional, habitantes com renda de salário mínimo, habitantes com renda mais que o salário mínimo e quantidade de bolsa família por município, para a área da BHRUP e seu entorno. ....	90
<b>Tabela 11.</b> Ensino fundamental; médio; pré-escolar; número de estabelecimentos de ensino e número de professores por município, para a área da BHRUP e seu entorno.....	92
<b>Tabela 12.</b> Unidade de resíduo sólido; saneamento total; abastecimento de água; forma de execução do abastecimento d’água; abastecimento da água da prefeitura; águas pluviais executadas pela prefeitura; abastecimento de água por outras entidades; rede de distribuição de água; tratamento de águas em m <sup>3</sup> ; rua pavimentada com asfalto e com drenagem e cursos de água intermitentes dos municípios, para a área da BHRUP e seu entorno.....	93
<b>Tabela 13.</b> Quantificação do uso, ocupação do solo e porcentagem de cada classe.....	95

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

AB - Alta da Bolívia  
AC - Aglomerados convectivos  
AS - América do Sul  
APPM – Associação municipal dos prefeitos piauiense  
APA - Área de preservação ambiental  
ATSM – Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar  
ABR – Abril (A)  
AGO – Agosto (A)  
BH - Bacia Hidrográfica  
BHRUP – Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto  
BA – Bahia  
CAS – Cavado do Atlântico Sul  
CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco  
CODEVASF – Companhia do desenvolvimento do vale do São Francisco  
COMDEPI – Companhia de desenvolvimento do Piauí  
CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
CAPE – Energia potencial disponível para convecção  
CJNEB – Corrente de jato do Nordeste Brasileiro  
CEPRO – Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí  
CPRM - Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais  
CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional Pesquisa  
Cbs - Nuvem Cumulonimbu  
DCA – Departamento de Ciências Atmosfera  
DP – Desvio padrão  
DCC – Número de dias com ocorrências de chuvas  
DNOCS - Departamento Nacional de Obras contra as Secas  
DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste  
DEZ – Dezembro (D)  
ENOS - El Niño Oscilação Sul  
EUA - United States of America  
EMATERPI - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa  
EX – Exemplo  
EDU – Educação  
EIA – Estudo de impactos ambientais  
ETP – Evapotranspiração  
EVR – Evaporação  
E - Este  
FAO – Food and agriculture organization  
FEV - Fevereiro (F)  
HN – Hemisfério Norte  
HS – Hemisfério Sul  
hPa - Hecto Pascal  
hab.km<sup>-2</sup> - Habitante por quilômetro quadrado  
h - Hora  
há - Hectare  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IRI/EUA – International Reserch Institute for climate and Society

IOS - Índice de Oscilação Sul  
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
 IME/ENOS - Índice Multivariado de El Niño Oscilação Sul  
 INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
 I = Índice calorífero anual;  
 JAN - Janeiro (J)  
 JUN – Junho (J)  
 JUL – Julho (J)  
 Kg.há<sup>-1</sup> - Quilograma por hectare  
 K - Constante positiva, cujo valor depende das unidades utilizadas.  
 Km<sup>2</sup> – Quilômetro quadrado  
 Km – Quilômetro  
 Kmh<sup>-1</sup> – Quilômetro por hora  
 LI; LI's – Linha de Instabilidade  
 MAR - Março (M)  
 MAI – Maio (M)  
 m<sup>3</sup> - Metros cúbico  
 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> – Metros cúbicos por segundo  
 m<sup>3</sup>km<sup>-2</sup>ano<sup>-1</sup> – Metro cúbico por quilômetro quadrado, ano  
 mm – Milímetros  
 mm ano<sup>-1</sup> – Milímetros por ano  
 ms<sup>-1</sup> – Metro por segundo  
 mm dia<sup>-1</sup> – Milímetros por dia  
 MME - Ministério das Minas e Energia  
 MMA - Ministério do Meio Ambiente  
 Mg L<sup>-1</sup> - Miligramas por litro  
 MA - Maranhão  
 n - Número possível de eventos variável aleatória discreta, adimensional  
 N - Norte  
 NNE- Norte do Nordeste  
 NW – Norte oeste  
 NOV – Novembro (N)  
 NCEP/NCAR – National Centers of Environmental Prediction  
 NEB - Nordeste do Brasil  
 OL - Ondas de Lestes  
 OMM - Organização Meteorológica Mundial  
 OUT – Outubro (O)  
 ODP - Oscilação Decadal do Pacífico  
 PRODETUR - Programa de Desenvolvimento do Turismo  
 PMA - Programa de Manejo Ambiental  
 PMN – Pressão ao nível médio do mar  
 PEA - População Economicamente Ativa e Renda Per Capita  
 PIB - Produto Interno Bruto,  
 PR - Ponderação regional  
 p<sub>i</sub> - Frequência relativa da precipitação  
 P<sub>i</sub> - Probabilidade da enésima variável aleatória discreta, adimensional  
 P – Precipitação - chuva  
 PI - Piauí  
 PB – Paraíba  
 PE – Pernambuco

PA – Para  
PRCPTOT - Precipitação total anual nos dias úmido  
Q – Escoamento superficial  
R - Tamanho total da amostra  
RM – Regressão linear múltipla  
RP - Regressão potencial múltipla  
RS - Ponderação regional com base em regressão linear  
ROL – Radiação de Ondas Longas  
RS – Rio Grande do Sul  
SIPOT - Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico  
SIPOT - Sistema de informação do potencial hidroelétrico Brasileiro  
SE-NE – Sudeste-Nordeste  
SE - Sudeste  
S - Sul  
SET – Setembro (S)  
SF; SF's – Sistemas Frontais  
SC – Santa Catarina  
SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
T - Temperatura média de mês (°C);  
TSM - Temperatura da Superfície do Mar  
UTC – Tempo médio de Greenwich  
UFCG - Universidade Federal de Campina Grande  
VCAS – Vórtices Ciclônicos de ar superior  
VR - Vetor regional  
VR/PR - Vetor regional, combinado com a ponderação regional  
VC/RP - Vetor regional combinado com a regressão potencial múltipla  
VR/RM - Vetor regional combinado com a regressão linear múltipla  
VC/RS - Vetor regional combinado com a regressão linear múltipla  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico  
Wm<sup>-2</sup> – Watts por metro quadrado  
W – Oeste  
° - Graus  
°C - Graus Celsius  
% - Percentual  
Σ - Somatório  
Ω - Omega  
Ξ - Zeta

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O Nordeste Brasileiro (NEB) tem, como característica, grande irregularidade na precipitação cujo comportamento é decorrente de um conjunto de fatores, tais como as características fisiográficas e influência de vários sistemas atmosféricos, fenômenos esses transientes, caracterizados pela grande variabilidade espacial e temporal das chuvas na região, tornando-se fator prejudicial às localidades atingidas, visto que tanto podem provocar enchentes, alagamentos, inundações e desmoronamento, como também secas atingindo, direta ou indiretamente, grande parte das atividades econômicas desenvolvidas na região, em especial aquelas ligadas aos setores agropecuário, social e hídrico.

Levando em conta a importância da precipitação, a qual exerce influência direta sobre as condições ambientais, observa-se grande esforço no sentido de fazer previsões de sua ocorrência e da sua variação espacial e com prognósticos de até 15 dias. Este grande esforço é devido ao fato de que outras variáveis meteorológicas são modificadas com a ocorrência da precipitação, pois a ocorrência das chuvas influencia nos valores da temperatura e umidade do ar principalmente em áreas tropicais, como é o caso do Piauí, com isto, inúmeros trabalhos realizados buscam ao longo dos anos analisarem e entender como se dá essa grande variabilidade espacial e temporal da precipitação e como, no geral é seu comportamento.

Eventos extremos de precipitação, nos quais incluem chuvas extremas e longos períodos de dias consecutivos secos, são os fenômenos atmosféricos mais perturbadores (Zin et al., 2010). A região NEB é conhecida pelos longos períodos de estiagem (seca); entretanto, nos últimos anos, especialmente nos anos de 2008 e 2009, esta região tem apresentado destaque na mídia devido aos vários eventos de chuvas extremas que ocorreram, sobretudo no Estado do Piauí. Tais eventos trouxeram alagamentos, enchentes, perdas agrícolas, material humano além de arrombamento de açudes, entre outras.

O estado do Piauí localizado na região do NEB, situado entre o meio norte úmido e o nordeste semiárido, fato este que estabelece condições geoambientais particulares. Além disso, apresenta variações altimétricas diferenciadas com as altas chapadas do sul-sudoeste, cuja altimetria está em torno de 600 metros e decresce à proporção que se aproxima do norte até chegar ao mínimo no litoral (CONDEPI, 2002). Ao longo deste trajeto têm-se as chapadas tubulares, com vertentes íngremes, vales interplanálticos e superfícies de erosão. Na região sul o principal sistema causador de chuvas são as penetrações de frentes frias e/ou seus vestígios e a formação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAS) quando de sua formação com seu

centro no oceano, as formações e contribuições da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), posicionadas na direção noroeste - sudeste da América do Sul aumenta a nebulosidade e provocam chuvas de intensidade moderada a forte, na área estudada.

Ressalta-se que nas bacias hidrográficas e nos mananciais do Piauí, os impactos e a degradação pela poluição, através das redes de esgoto e dos lixões próximos às suas margens e/ou mesmo jogados pelas populações ribeirinhas ou transportados pelas correntes das águas após fortes eventos de chuvas fortes, como também as intensas quantidades de agrotóxicos que vem sendo utilizados de forma impróprios no setor agrícola. Observa-se que seus excedentes estão chegando diretamente nas áreas da bacia, reservatórios, lagoa, lago, riachos e córregos e nas águas de subsolo, contaminando-as e atingindo diretamente o ser humano, animal e vegetal em conformidade com Maruyama et al. (2005).

Trabalhos que utilizam índices de variabilidade climática em escala global para estudar os efeitos dos fenômenos planetários em variáveis hidrometeorológicas segundo os autores Molion e Moraes, (1987); Andreoli e Kayano (2006), local e regional em conformidade com Medeiros e Molion (2002) no âmbito de bacias hidrográficas (Da Silva, 2003) não são muitos frequentes na literatura.

Com o crescimento progressivo da população mundial, regional e local, as áreas cobertas por florestas e matas ciliares vêm sofrendo reduções significativas e dando espaço a novas áreas visando à produção de alimentos, pastagem, pecuárias, mineração e urbanização, além das altas taxas de ocorrência de queimadas nos campos desmatados, para a realização de limpezas e uso de técnicas ultrapassadas de cultivos e manejos de solo persistentemente, utilizados por alguns profissionais e donos de terras, contribuem para o avanço da degradação em conformidade com MMA (2010).

No caso da Bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) as condições descritas no parágrafo anterior vêm sendo observada, haja vista estar ocorrendo à utilização de imensas áreas no cultivo de monoculturas e pecuária, o que vem provocando a extinção de alguns elementos da fauna e da flora regional, importunando em prejuízos econômicos e ambientais, afetando deste modo, a bacia hidrográfica e seus mananciais.

## **1.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal é analisar os aspectos climático, socioeconômico e ambiental e seus efeitos na bacia do Rio Uruçuí Preto e entorno.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Avaliar o regime de precipitação da bacia hidrografia do rio Uruçuí Preto;
- Analisar os períodos secos e chuvosos;
- Realizar balanço hídrico para a área da bacia do rio Uruçuí Preto;
- Realizar uma classificação climática;
- Contribuir para o uso, proteção e conservação dos recursos naturais com vista ao desenvolvimento sustentável que considere a capacidade dos ecossistemas em absorver os impactos das atividades humanas e entender a dinâmica dos elementos dos ecossistemas sem comprometer a qualidade do ambiente para as gerações futuras.

## **1.3. ESTRUTURA DA TESE**

A organização da tese segue com uma fundamentação teórica (Capítulo 2) dos principais tópicos que serão de interesse na discussão dos resultados, tais como: Fundamentação e revisão bibliográfica; Sistema de tempo e clima; Contextualização macrorregional; Sistema sinótico; Zona de convergência intertropical (ZCIT); Vórtices ciclones de ar superior (VCAS); Frentes frias (FF); Distúrbios ondulatórios de leste (DOL); Linha de instabilidade (LI); Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS) ; Sistemas atmosféricos e oceânicos; Enos; Dipolo do Atlântico; Oscilação de Madden-Julian; El Niño e La Niña; Descrição do El Niño; Impactos do El Niño no globo e no estado do Piauí; Descrição da La Niña; Impacto da La Niña no globo e no estado do Piauí.

No capítulo 3 foram descritos Materiais e Métodos; a bacia hidrográfica do rio uruçuí preto; Dados; Precipitação; Temperatura do ar; Umidade relativa do ar; Nebulosidade; Vento: direção e velocidade; Evaporação e evapotranspiração; Insolação total; Modelo hidrológico IPH2; Ajuste e calibração do IPH2; Verificação do modelo; Dados observados; Modelos médias móveis; Método do preenchimento de falhas; Classificação climática de Köppen; Categoria de clima; Divisão entre clima úmido e seco; Clima do tipo a – subcategorias; Clima do tipo b - subcategorias; Clima do tipo c - subcategorias; Divisões desta subcategoria (c).

No capítulo 4 foram estudados Resultados e discussão; Diagnóstico sócioeconômico e ambiental; Impactos ambientais; Fruticultura e cereais; Produção de animais e estabelecimentos agrícolas, da apicultura e a ovinocaprino cultura; Transporte e renda; Ações de melhoramento da qualidade de vida e caracterizações do sistema de educação e da saúde pública; Cobertura e uso do solo; Aspectos climáticos e hidrológicos da bacia do rio Uruçuí Preto; Temperaturas máxima,

mínima, média e amplitude térmica; Os b-r-o-bros e suas variações no estado do Piauí; Evaporação e evapotranspiração; Umidade relativa do ar; Insolação total e nebulosidade; Direção predominante e intensidade do vento; Vazão observada, vazão estimada e precipitação para a área da BHRUP; Vazão observada e vazão estimada pelo método da média móvel, para 5 e 10 anos para a área da bhrup; Cálculo da evaporação para a área da BHRUP.

Finalmente se encontram no Capítulo 5, as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

**FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA****2. SISTEMA DE TEMPO E CLIMA****2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO MACRORREGIONAL**

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.

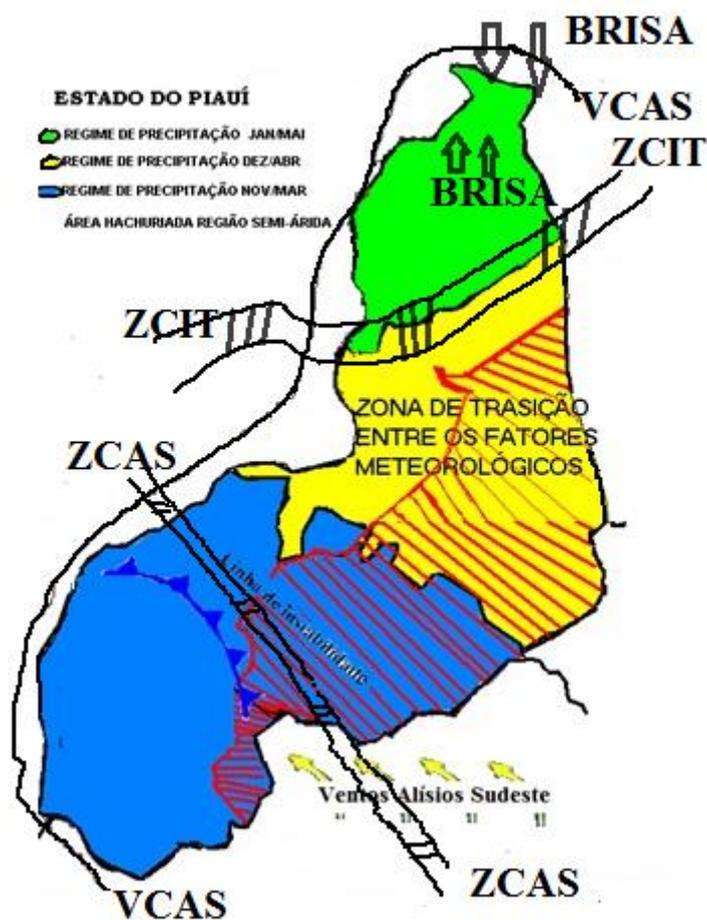
As variações que o tempo sofre no dia-a-dia, fazem com que os seres humanos estejam expostos diretamente às modificações climáticas cujas alterações podem desencadear maiores frequências de eventos extremos, considerados eventos diretos (enchentes, tempestades e seca) e eventos indiretos, ligados aos 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).

No NEB verifica-se, ao longo do ano, um período curto de 3 a 4 meses com precipitações pluviométricas e um período longo, geralmente chamado 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, esses índices pluviométricos não são tão baixos, no entanto, as temperaturas são elevadas, as perdas por evapotranspiração são acentuadas e é 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, Cabral e Santos (2007).

A água é um componente 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 de acordo com Matondo (2002).

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 VCAS, ZCAS, LI as

contribuições dos ventos alísios de sudeste que, juntos, aumentam a nebulosidade e provocam chuvas de intensidade moderada a forte, na região (Figura 1).



**Figura 1.** Regimes e principais fatores provocadores de chuva no estado do Piauí. Fonte: Medeiros (2015).

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).

Considerando a complexidade que caracteriza os mecanismos climáticos que produzem as precipitações no estado do Piauí, tem-se, como principal efeito, a forte variabilidade das precipitações haja visto que se observa grande irregularidade, tanto temporal quanto espacial, variabilidade esta que gera problemas hídricos, às vezes dramáticos, como as grandes enchentes, com perdas e destruições generalizadas e secas periódicas, de consequência ainda mais danosa.

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

O ciclo hidrológico e os recursos hídricos são afetados por mudanças no regime de precipitação. É possível que as mudanças no clima alterem a temperatura e a precipitação e aumentem a variabilidade dos eventos de precipitações que poderão favorecer inundações e secas mais intensas e frequentes em conformidade com os autores Dufek e Ambrizzi (2008).

A disponibilidade de recursos hídricos, além de fundamental para o enfrentamento de uma estiagem prolongada, permite a fixação do homem no campo diminuindo, assim, o êxodo rural e a fome. A limitação da infraestrutura hídrica potencializa a vulnerabilidade às secas, sobrevivência das populações mais pobres.

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

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).

Considerando que a irregularidade é um dos atributos climáticos característicos de toda a região nordeste e em especial no Piauí, conclui-se que a ocorrência de eventos pluviais extremos, positivos ou negativos, condiciona um quadro continuamente alterado, ora de extrema carência de água e ora de abundantes excedentes hídricos.

As variações temporais da precipitação constituem o fator climático mais importante da região Nordeste. Marcadas por irregularidade interanual, as ações do clima se revestem da maior

importância geográfica regional, exercendo papel balizador nas atividades econômicas, sobretudo nas rurais.

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.

Na região dos Cerrados do NEB as precipitações se concentram no período primavera-verão, época em que se intensificam as atividades agrícolas. 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.

Na década de 50 duas grandes secas, a de 1951 e a de 1958, assolaram a região, sendo a do final da década a de maior repercussão econômica. Na década de 60 secas de grande intensidade foram registradas em 1962 e 1966, obrigando a adoção de medidas por parte do governo para evitar o êxodo rural. A década de 70 se inicia com uma seca que castigou bastante a região nordeste, onde se sobressai o ano de 1976 atingindo a região sudeste do Piauí, área mais afetada pela seca.

Em contrapartida no ano de 1981, e no período de 12 de março a 4 de abril ocorreram chuvas abundantes, provocando inundações e destruição de açudes; em alguns locais foram registrados neste período, cerca de 50% do total anual de chuvas, demonstrando a magnitude do evento.

Haylock et al., (2006) estudaram as médias extremas de chuva no Sudeste da América do Sul, no período de 1960-2000, evidenciando tendências para condições mais úmidas no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e no Norte e Centro da Argentina e observaram que a região Sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e frequência de dias com chuva intensa.

Santos et al., (2009) e Santos e Manzi, (2011) verificaram, analisando a distribuição espacial dos índices que o aumento de umidade ocorreu predominantemente sobre a região norte do estado Ceará; entretanto, o índice precipitação total anual nos dias úmido identificou aumento na região sul do referido estado, ainda Santos et al., (2009) analisaram diferentes índices de detecção de mudanças climáticas baseados em dados de precipitação diárias (1935 – 2006) para

o estado do Ceará e identificaram que ocorreram mudanças locais na precipitação e um aumento visível nas condições de umidade, sobre a região.

A maioria dos modelos é capaz de reproduzir as características básicas do ciclo sazonal da precipitação, como o noroeste e sudeste a migração de precipitação sobre a América do Sul tropical e a máxima precipitação observada nos Andes do sul Li et al., (2006). No NEB, os modelos são capazes de capturar variações sazonais e interanuais, porém os padrões de chuva não são quantificados de conformidade com os autores Silveira et al. (2012) e Silveira et al. (2013).

Bernstein et al. (2007) indicaram que alguns eventos extremos de tempo têm mudado suas frequências e/ou intensidade nos últimos 50 anos; isto inclui forte aumento na frequência de eventos de precipitação sobre muitas áreas do globo. Neste período a precipitação aumentou significativamente nas partes leste das Américas do Sul e Norte, norte da Europa e centro da Ásia enquanto diminuiu no Sahel, Mediterrâneo, sul da África e em partes do sul da Ásia.

Invernos mais quentes, mesmo com eventos extremos de frio, tal como períodos de estiagem mais prolongados e tempestades severas mais intensas, são alguns exemplos de alterações climáticas conforme Camargo et al. (2006).

Todas as chuvas, independente da sua intensidade, duração e quantidade, são importantes no cálculo do balanço hídrico; chuvas leves têm, muitas vezes, sido negligenciadas nos estudos do balanço hídrico devido à acepção errônea de que a chuva se infiltra no solo para ser completamente efetiva. A planta pode, porém, utilizar diretamente a água na superfície foliar, além do que a chuva remanescente na superfície das folhas e/ou no solo pode evaporar-se, utilizando a maior parte do calor latente de evaporação disponível; quando isto ocorre, a transpiração de águas por meio dos estômatos da planta será consequentemente reduzida, Mota, (1979).

Medeiros (1999) republicou as séries pluviométricas do estado do Piauí, com os dados revisados e sem as realizações de preenchimento de falha na sua série, além da inclusão de novos municípios implantados ao sistema de coleta de dados de chuvas.

Estudos têm mostrado que a frequência e a persistência das secas deverão ser uma das consequências do aquecimento global, Qian e Lin, (2005) observaram que no NEB as atividades agrícolas, quase que em sua totalidade, são baseadas na precipitação enquanto o conhecimento de sua variabilidade é de extrema importância, principalmente para os setores sociais e econômicos.

Situações de anomalias climáticas extremas resultando em situações de secas e inundações de grande intensidade tem-se alternado com maior frequência nos últimos anos,

demonstrando o agravamento de uma questão que é histórica em toda a região nordeste e no estado do Piauí.

O bom monitoramento da precipitação pluviométrica é atualmente uma ferramenta indispensável na mitigação de secas e enchentes de acordo com Paula et al., (2010).

Andrade (2011) observou, estudando a variabilidade da precipitação pluviométrica de um município do estado do Pará, para chuva, média mensal, maiores índices no período de dezembro a maio e menores de junho a novembro, coincidindo com os resultados obtidos neste estudo, mesmo em se tratando de uma região diferente. De acordo com Molion e Bernardo (2002), sua ocorrência é devido ao fato da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) migrar de uma posição mais ao norte, cerca de 14°N em agosto-setembro, para a posição mais ao sul, cerca de 4°S, durante março-abril sendo este o principal mecanismo responsável pelas chuvas que ocorrem no norte do Nordeste do Brasil (NNE) durante sua estação chuvosa principal, entre fevereiro e maio.

Molion e Bernado (2002) recomendam que a variabilidade interanual da distribuição das chuvas no NEB, tanto na escala temporal e quanto na espacial, esteja relacionada com as mudanças nas configurações da circulação atmosférica de grande escala e com a interação Oceano Atmosfera nos Oceanos Pacífico e Atlântico. O norte da região NEB, cujos principais mecanismos de produção de chuvas são a ZCIT, a convergência de umidade (brisas e perturbações – oscilatórias no campo dos ventos alísios) a influência direta das frentes frias e a convecção local, pouco influencia. O sul do NEB tem, como principal mecanismo de chuvas, os sistemas frontais estacionários alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, que definem a ZCAS, sistema pré-frontal, convecção local e brisas terrestre e marítima no litoral. O regime do sul do nordeste é semelhante ao da parte norte da região sudeste do Brasil. O máximo de chuvas na faixa costeira do leste do nordeste estaria ligado à maior atividade de circulação de brisas que advecta banda de nebulosidade para o continente, e a ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propaga ao longo da costa. Os máximos de chuva estão associados à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, a zona de convergência do leste do nordeste e as perturbações oscilatórias do campo do vento que, por sua vez se associam à topografia e a convergência de umidade.

Segundo Silva et al., (2013) 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 três 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. 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 ocorrência de chuvas com seus respectivos sistemas provocadores e/ou inibidores. Na região Norte os índices pluviométricos têm 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 escala, são de grande importância para os regimes de chuva do estado do Piauí, os quais seguem tempo cronológico de suas atividades e duração.

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

Segundo Silva et al., (2008) outra característica dos regimes de chuva na região Nordeste, é a grande variação que se manifesta tanto na distribuição das precipitações ao longo do período chuvoso quanto nos totais anuais, em uma mesma localidade e ao longo dos anos.

Desta forma, diferentes regimes de chuvas são identificados no NEB. No norte, a estação chuvosa principal é observada nos meses de fevereiro, março e maio; no sul e sudeste as chuvas ocorrem principalmente durante o período de dezembro a fevereiro e no leste a estação chuvosa é verificada nos meses de abril, maio, junho e julho, conforme Santos (2006).

Existem muitos fatores e sistemas que provocam ou inibem as precipitações no NEB; para entender como são suas distribuições ou ações nos estado do Piauí julgou-se necessário realizar as descrições para a região Nordeste e confrontar os referidos sistemas ou fatores provocadores e/ou inibidores de chuvas para o estado, (Medeiros, 2013).

Como a região Nordeste tem ampla variabilidade e irregularidade na distribuição da precipitação e suas atividades econômicas são duramente afetadas por esta disfunção, é de bom tom saber quais os sistemas precipitantes do Nordeste visto que gerenciamento hídrico ótimo e uma boa previsão serão bem vindos pela população da região. Dentre os principais sistemas atuantes no Nordeste se encontra os sistemas frontais (Kousky, 1979), e os VCAS (Kousky e

Gan, 1981). É notório que na região NEB a precipitação é resultante da junção de diversos sistemas atmosféricos de várias escalas quase que periódicos, como a ZCIT (Uvo, 1989), os Vórtices Ciclônicos de ar superior, Kousky e Gan, (1981); Aragão, (1975); os sistemas frontais, Kousky, (1997) e os distúrbios de leste (Espinoza, 1996) que podem ser alterados pelas características fisiográficas da região e pelas anomalias atmosféricas planetária, com destaque para o dipolo do Atlântico, e pelos ENOS que modificam as frequências, distribuição espacial e a intensidade dos sistemas, Araújo (2006); Fazem-se necessários estudos para verificação da variabilidade interanual com ênfase para o período chuvoso regional.

Observou-se que a precipitação havia aumentado de 0,5 a 1,0% por década, até o final do século XX; Este aumento foi mais significativo no Hemisfério Norte (HN); na região tropical o aumento na precipitação foi da ordem de 0,2 a 0,3%; estudos elaborados por Pinto et. al., (2003) mostram que no Brasil a variabilidade climática, dependendo da região analisada, pode provocar alterações contínuas nos elementos meteorológicos (precipitação, ventos, temperatura do ar e umidade relativa do ar).

A variabilidade climática global e as mudanças devidas aos processos naturais e fatores antrópicos, podem resultar em grandes problemas ambientais que "afetam" o mundo, durante o século 21 Marin et al., (2012) e Cândido et al., (2007).

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) sinaliza que a topografia da região tende a intensificar os movimentos subsidentes sobre esta região enquanto o albedo tende a se associar para intensificar o movimento ascendente.

O processo de aquecimento global pode do ponto de vista da termodinâmica, ser assumido como acumulação de calor, não só pela atmosfera, mas também na água e solo. Essa energia pode ser mobilizada e dissipar de forma rápida, e concentrada, gerando eventos extremos Nordell, (2007); enfim, esta é uma provável explicação para o aumento da frequência e intensidade de furacões no HN. Em resumo, mais que causar aumento global de temperatura este processo, conjugado com as alterações de uso da terra, pode aumentar a amplitude de variações de temperatura e precipitação.

Estudos de extremos de clima no Nordeste têm sido desenvolvidos em nível regional ou microrregional. Lacerda et al., (2009) realizaram um estudo na microrregião do Pajeú, no Sertão de Pernambuco, e mostraram um aumento dos dias secos, do comprimento médio dos veranicos e dos máximos veranicos.

As precipitações estratiformes podem produzir altos índices pluviométricos em tempo mais longo enquanto as chuvas convectivas tendem a ser concentradas em curtos períodos; essas características são indispensáveis em estudos de Bacias Hidrográficas. Segundo Tucci et al., (2002), pode-se, dependendo das características da Bacia Hidrográfica, uma resposta bastante diferente num caso ou no outro, considerando sobretudo as peculiaridades da permeabilidade do solo.

Santos et al., (2010) estabeleceram relações entre padrões atmosféricos específicos, variabilidade temporal e espacial da precipitação e formação de cheias no semiárido da bacia hidrográfica do São Francisco, cujas análises tiveram, como foco, a região do Submédio e parte média do rio São Francisco. Os autores aplicaram a técnica de análise de componentes principais e constataram que um modelo com três componentes foi adequado para representar a estrutura das variáveis, retendo 60% da variância total da precipitação, e concluíram que os VCAN e a ZCIT foram determinantes para o desenvolvimento de sistemas precipitantes intensos e ocorrência de inundações a jusante do reservatório Camalaú, nos meses de janeiro e abril de 1985, ensejando prejuízos econômicos para a população.

As secas severas no NEB, as quais geraram inúmeros estudos por seu impacto social e econômico, são relacionadas às ocorrências de episódios fortes do El Niño, Andreoli et al., (2004) e Aragão, (1986). Entretanto, Kane e Trivedi, (1988); Kane, (1992); Kane, (1997), mostraram que dos 47 eventos de El Niño ocorridos no período de 1849-1992 somente 45% dos eventos estiveram associados às secas severas em Fortaleza.

Segundo Aragão (1975) os efeitos dinâmicos são os principais responsáveis por estimular ou inibir a precipitação no NEB de forma que: em dezembro e janeiro se admite que o principal efeito dinâmico favorável à precipitação para a região sul é à entrada de frentes frias oriundas do sul do continente, Kousky (1979); no mês de fevereiro ocorre convergência de massa nos níveis baixos, associados a movimentos verticais ascendentes, o que favorece as concentrações das chuvas; no mês de março ocorre divergência de massa nos baixos níveis de convergência nos níveis médios, associados a movimentos verticais descendentes, reduzindo as chuvas.

As razões físicas da variabilidade das chuvas no NEB são complexas e estão relacionadas à circulação geral da atmosfera.

Outras problemáticas esperadas são as reduções dos índices pluviométricos que poderão atingir uma faixa de 60% dos valores mensais; com isto, os reservatórios de armazenamento de águas ficarão obsoletos, restringindo ainda mais a água potável para a sobrevivência humana e animal; também serão afetadas a fauna e a flora podendo algumas espécies ser extintas Marengo (2011).

Santana et al., (2007) trabalharam em Minas Gerais, na região semiárida, demonstrando que a variabilidade do período chuvoso dependia única e exclusivamente dos fatores provocadores de chuva.

Da Silva e Silva (2011) encontraram tendência de redução de precipitação de  $2,19 \text{ mmano}^{-1}$  no Cariri cearense e de  $4,16 \text{ mmano}^{-1}$ , na Região Metropolitana de Fortaleza.

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.

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, adotado como padrão o recomendado pelo INMET. Os quatro métodos avaliados em relação ao padrão tiveram seu desempenho classificado “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.

Andreoli e Kayano (2006) os efeitos isolados da variabilidade da temperatura do mar do Atlântico sul nas chuvas da região do NEB, são mais pronunciados e estatisticamente mais significantes durante o outono. Os autores confirmam que as temperaturas da superfície do mar do Atlântico Sul são responsáveis pelo posicionamento anômalo da ZCIT afetando deste modo a distribuição das chuvas, na referida região.

Os valores das anomalias das temperaturas da superfície do mar, do Pacífico Tropical e Atlântico, estão associados a mudanças no padrão da circulação geral da atmosfera e consequentes variações na precipitação do Nordeste do Brasil, Araújo (2009).

Almeida (2013) analisou se as oscilações decadal e sazonal das temperaturas do ar (máxima, média e mínima) de Campina Grande e Areia (PB), Petrolina (PE) e Juazeiro (BA) são inerentes à variabilidade natural ou à mudança climática. Para essas investigações foram utilizadas séries térmicas mensais e anuais, do período: 01.01.1970 a 31.12.2009, cedidas pelo INMET e Embrapa. Cada série foi analisada estatisticamente comparando as oscilação das temperaturas por décadas e nas estações do ano com as respectivas médias aritmética da série + o desvio padrão (DP). Os principais resultados mostraram aumentos nas temperaturas máxima, média e mínima, quando se compara a década com a anterior, em todas as estações do ano, porém inferiores as suas respectivas médias + DP. Os maiores valores médios mensais das séries das temperaturas máxima e mínima ocorreram, respectivamente, em Juazeiro (BA) e Petrolina

(PE) e os menores, em Areia (PB). Destaca-se, entretanto, que na última década foi constatada uma diminuição nas médias das temperaturas máxima e média, nas quatro estações do ano, em Campina Grande, (PB), e nas média e mínima em Juazeiro, (BA). Frequências de valores de temperaturas máxima e mínima anual acima das respectivas médias mais o desvio padrão foram verificadas, respectivamente em oito e em seis anos, em Juazeiro (BA). Visto que as dispersões térmicas foram, no período estudado, inferiores às respectivas médias mais o desvio padrão, conclui-se que essas oscilações são inerentes à variabilidade natural do clima e não há indícios de mudanças climáticas.

Sansigolo e Kayano (2010) encontraram usando séries de temperatura do sudeste do Brasil (período: 1913-2006) tendências no verão, de aumento na temperatura mínima de 1,9 °C e decréscimo na temperatura máxima de 0,6 °C para cada 100 anos. Para Molion (2008), o aquecimento a partir de 1977 pode ser em parte, devido à urbanização em torno das estações meteorológicas, ou seja, um aquecimento local e não global.

Extremos de temperatura e precipitação têm sido estudados em escala global, nacional e regional. Em escala global, análises mais compreensivas dos extremos climáticos são discutidas no Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2007); nas escalas nacional e regional, têm sido desenvolvidos estudos das mudanças e seus impactos na Ásia, Pacífico Sul, Caribe, África, América do Sul e América do Norte, entre outros. Existem, porém consistências marcantes entre os resultados obtidos por esses estudos, em termos de temperatura, menos coerência espacial nos extremos de precipitação, Santos et al., (2011) e You et al., (2010).

Nas duas últimas décadas a variabilidade da temperatura do ar tem-se destacado pelas elevadas anomalias de temperatura média global do ar (Climate Research Unit, 2009). Entre o período de 1961 a 2010, os anos de 2010 e 2005 foram os mais quentes com anomalias de 0,63 °C e 0,62 °C, respectivamente, seguidos dos anos de 2007, 2009 e 2002, com anomalias de 0,58 °C, 0,56 °C e 0,56 °C, respectivamente; isto quando se consideram as anomalias combinadas temperatura do ar e temperatura da superfície do mar. Considerando apenas a temperatura do ar, o ano mais quente foi 2010, com anomalias de 0,83 °C, seguido por 2005, 2007, 2009 e 1998, com anomalias de 0,78 °C, 0,75 °C, 0,72 °C e 0,70 °C, respectivamente. O ano de 2011 foi o nono ano mais quente em conformidade com Campos (2010).

A década de 1990 foi o mais quente desde que as primeiras medições; no fim do século XIX, foram efetuadas. Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período. Até finais do século XX o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas, em 1861, com +0,54 °C acima da média histórica

de 1961-90. Os últimos 11 anos, 1995-2004 (com exceção de 1996) estão entre os mais quentes no período instrumental (MMA, 2007).

Marengo e Camargo (2008) obtiveram através do teste de Mann-Kendall, tendências de aquecimento na maioria das estações de 0,5 a 0,8 °C/decênio nas temperaturas mínimas e de 0,4 °C/decênio nas máximas.

A verificação da confiabilidade dos vários métodos utilizados na estimativa da temperatura média diária do ar é de grande importância uma vez que os valores deste parâmetro variam substancialmente com a época do ano (sazonalidade) e características locais (Strassburger et al., 2011; Jerszurki e Souza, 2010).

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 (Nogueira et al., 2012; Correia et al., 2011).

Jerszurki e Souza (2010) encontraram fazendo análise comparativa em doze localidades com diferentes métodos, sérias restrições para utilizar a temperatura média do ar calculada pelo método dos extremos (FAO), principalmente nas estações do verão e primavera.

Barbieri et al., (2013) avaliaram o desempenho de métodos alternativos utilizados na estimativa da temperatura do ar média diária na região do polo de irrigação, Petrolina-Juazeiro. Os principais dados meteorológicos utilizados nas avaliações são oriundos de observações feitas nas estações climatológicas de Bebedouro (PE) e Mandacaru (BA), pertencentes à Embrapa Semiárido. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se regressão linear e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Os resultados obtidos com a aplicação do método recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) mostram que a evolução temporal da temperatura é extremamente sensível às mudanças no uso e cobertura da terra. O aumento no teor de umidade na baixa troposfera, decorrente da expansão agrícola em área de caatinga, contribui para a absorção da energia calorífica e elevação da temperatura noturna (temperatura mínima).

Quanto á temperatura e umidade 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.

Referente à utilização de gráficos, Ayoade (2010) afirma que “o clima de uma região é descrito com a ajuda de gráficos das variações sazonais nos valores dos elementos climáticos, usualmente a temperatura e a precipitação”.

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 desenvolvimento 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).

Séries temporais possibilitam estudar prováveis mudanças que possam estar ocorrendo em determinada variável. Assim, a avaliação de séries temporais é instrumento importante para, através do comportamento passado, avaliar tendências futuras, especialmente no momento em que tantas especulações estão sendo feitas sobre mudanças climáticas, Cargnelutti Filho et al., (2008). Como a temperatura apresenta comportamento diferente no decorrer do tempo, com oscilações ou, até mesmo, repetição de padrão, tornam-se indispensáveis seu melhor estudo e conhecimento, Mezzomo (2005).

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, 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.

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 5400 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. Constatou-se com isto, 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 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 variabilidade é um dos elementos mais conhecidos da dinâmica climática, e o impacto produzido por este fenômeno, mesmo dentro do esperado, pode ter reflexos significativos nas atividades humanas; neste sentido, analisou-se a variabilidade climática da umidade relativa do ar e da temperatura máxima do ar na BHRUP, enfocando tais variações como meio para compreender futuras mudanças. Para a realização deste trabalho utilizaram-se dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar e anuais, no período de 1960 a 1990. Como resultado afirma-se que as temperaturas máximas anuais aumentaram durante o período analisado, podendo acarretar vários problemas socioeconômicos, como, para a saúde humana. 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.

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 meio para compreender futuras mudanças. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados de temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar além de 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, e para a saúde humana. Verifica-se, também, a partir dos dados, 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 maior evaporação das águas. Em referencia aos totais pluviométricos anuais, nota-se que os valores estão aumentando gradativamente, sendo que este aumento pode estar relacionado ao aumento da temperatura, que faz com que se tenha uma evaporação maior e conseqüentemente, maior precipitação.

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

Medeiros et al., (2006) delimitaram os regimes de umidades relativas atuantes no estado do Piauí; para isto, foram utilizados dados de umidade relativa do ar, convencionais e interpolados das estações que operam no estado, na determinação das médias mensais e anuais.

Observando o comportamento da umidade relativa para cada município ao longo do ano, foi possível delimitar três regimes baseados nos trimestres mais úmidos, Figura 7.

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.

Silva et al., (2011) compararam o balanço hídrico do ano de 2010 com o do período entre 1962 a 2009 (49 anos) do município de Gilbués - PI, caracterizando uma normal climatológica. Tal análise subsidia o conhecimento sobre o comportamento hidroclimatológico do município visando à demanda hídrica na produção de grão e nas áreas susceptíveis à desertificação e à seca, contribuindo ainda para o auxílio de futuros planejamentos urbanos e ambientais. Para tal finalidade se utilizaram dados históricos de precipitação de quarenta e nove anos de observações pela SUDENE, EMATERPI e INMET, a temperatura foi estimadas pelos métodos da reta de regressões múltiplas levando-se em consideração as coordenadas geográficas municipais; as deficiências hídricas se mantiveram nos anos estudados entre os meses de abril a outubro, os excedentes hídricos fluíram entre dezembro e abril e a evapotranspiração potencial e a evaporação real e os índices pluviométricos apresentaram valores variados com significância.

Medeiros, et al., (2011), avaliaram o comportamento das condições hídricas em decorrência do aquecimento global, analisando a futura disponibilidade hídrica do município de São Raimundo Nonato, localizado na área do semiárido piauiense. Para averiguar o comportamento hídrico efetuou-se o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico, segundo o método de Thornthwaite e Mather, utilizando-se da série de precipitação dos anos de 1910 a 2005, coletadas da SUDENE, EMATER-PI e INMET e de dados de temperatura estimados pelo software Estima\_T, Cavalcanti et al., (1994, 2006). Os resultados foram aplicados para as condições médias; em seguida, usaram-se os cenários de precipitação mensal (descimento de 10,0% e 20,0%) e de temperatura (acrécimo de 1,0 °C e 4,0 °C) do IV Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC AR4), para os cenários extremos de emissão de CO<sub>2</sub>, otimista e pessimista, concomitantemente. Observou-se, através do balanço

hídrico, que em condições médias ocorre deficiência hídrica em todos os meses para os casos do balanço hídrico climatológico e para as simulações de reduções de 10 e 20%. Os resultados obtidos tanto para o cenário otimista quanto para o pessimista, indicam situação crítica das condições do solo, tanto nos recursos hídricos quanto para a prática de culturas de sequeiro, que serão inviáveis para este município, caso tais cenários advenham.

As principais diferenças dos tipos climáticos nordestino resultam, em parte, dos totais anuais precipitados, de suas distribuições sazonais e topografia. Em geral, os totais precipitados, reduzem do litoral leste para o interior, desde as máximas de 2800 mm/ano até mínimas de 240 mm/ano. Tais valores extremos fazem com que a região apresente clima superúmido a semiárido, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1957).

Galvínio et al., (2006) utilizaram o balanço hídrico para analisar o impacto das ações antropogênicas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão - PB. Ufoegbune et al., (2011) apresentaram estimativas do balanço hídrico no Lago Oyan, no Noroeste da Nigéria.

Santos et al.,(2014) avaliaram o comportamento da disponibilidade hídrica em cenários futuros e utilizaram para isto do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1948, 1955) para as séries de dados mensais e anuais de precipitação e temperatura, referentes ao período de 37 anos de 1962-2010. Para os cenários médios mensais com redução de 10% e 1°C (cenário otimista = B2) e 20% e 4 °C (cenário pessimista = A2), segundo a metodologia do IV Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC AR4). Por meio do BHC ocorreu em condições normais, deficiência hídrica de maio a outubro, enquanto os excedentes variaram de dezembro a maio, no cenário B2, e no cenário A2, ocorreram excedentes entre janeiro e abril e deficiências hídricas de maio a novembro. 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 quanto ao manejo dos solos. Para se medir o índice de Erosividade das Chuvas (R), utilizou-se da Equação Universal de Perdas de Solo, estimada por Wischmeier (1971) e Smith (1958, 1978), que permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações em determinado local. Os resultados da avaliação do potencial erosivo das chuvas em Santa Filomena - PI foram de 33.209,2 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> como sendo de altíssima concentração de erosividade de chuva.

Os jatos de baixos níveis são mais frequentes no verão ao norte de 20 °S enquanto ao sul desta latitude ocorrem o ano todo; já o transporte de umidade dos trópicos para os subtropicais é maior no verão, Marengo et al., (2004).

Sansigolo e Kayano (2010) concluíram, ao analisar as precipitações e temperaturas no Rio Grande do Sul, que as precipitações apresentaram tendências significativas só no verão, de aumento de  $93 \text{ mm}100 \text{ anos}^{-1}$ , sobre uma média sazonal de 367 mm.

Uma das mais consequências significativas do aquecimento global poderão ser um aumento na magnitude e na frequência dos extremos de precipitação, através do acréscimo dos níveis de umidade na atmosfera e/ou atividades convectivas de grande escala, em conformidade com os autores Shouraseni e Robert, (2004).

Xavier et al., (2003) e Santos e Brito (2007) indicaram que a precipitação sobre o NEB é bastante sensível a extremos de TSM no Oceano Pacífico Equatorial associados ao evento ENOS, tal como também as anomalias de TSM do Atlântico Tropical associadas ao dipolo do Atlântico. Salienta-se que os primeiros estudos mostrando a dependência da precipitação no NEB com as anomalias de TSM no Atlântico tropical, foram desenvolvidos por Hastenrath e Heller (1977); Moura e Shukla (1981).

Fedorova (2001) afirma que as correntes de jato são definidas como ventos na alta troposfera, superiores a  $30 \text{ ms}^{-1}$ . Virji (1981) observou ventos fortes superiores a  $20 \text{ ms}^{-1}$  na periferia da Alta da Bolívia.

As perturbações se originam quando os sistemas frontais do HN penetram profundamente em latitudes equatoriais, durante o inverno-primavera que ocorrem entre dezembro e abril, e a ZCIT, em sua posição mais ao sul, tanto sobre o Atlântico e cobrindo a África Equatorial gerando, nessas áreas grandes complexos convectivos de escala locais sinóticos, que acarretam perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios, Molion e Bernado, (2000); Da Silva (2003).

As perturbações oscilatórias no campo dos ventos alísios se propagam para oeste com velocidade de 6 a  $8^\circ$  de longitude por dia; cruzam o equador, não se desenvolvem sobre o Oceano devido à inversão de umidade e temperatura do ar onde estão sempre presentes no campo dos alísios; seu maior desenvolvimento ocorre ao atingirem a costa, provocados pelo aumento da convergência do fluxo de umidade e ao contraste térmico entre Continente e Oceano, atingindo a distância de 300 km no interior do continente; suas junções com os efeitos de brisas que ocorrem no período noturno se intensificam e provocam tempestades com índices pluviométricos acima de  $50 \text{ mm} \text{ dia}^{-1}$ , acompanhadas de rajadas de ventos superiores a  $50 \text{ Km} \text{ h}^{-1}$  em áreas próximas à costa leste do nordeste; suas maiores ocorrências são observadas em anos de La Niña devido à maior troca de energia entre as regiões tropicais e em período de El Niño provocam bloqueios nas penetrações das

frentes frias, sendo uma das causas das perturbações oscilatórias no campo dos ventos alísios, segundo Molion e Bernado, (2002).

Conforme Laurent et al., (1989) o Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) pode ser detectado em vários níveis isobáricos padrões mas geralmente se utiliza o nível de 500 hPa como indicador do evento. No NEB, Santos et al., (2012) e Paiva Neto (2003) diagnosticaram sistemas mais intensos no nível de 700 hPa.

### **2.2.1. SISTEMA SINÓTICO**

Existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que produzem precipitação significativa no NEB:

- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT);
- Bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias;
- Distúrbios de Leste;
- Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS;
- Brisa Terrestre e Marítima;
- Oscilações de 30-60 dias.

Esses fenômenos atuam em regiões distintas e podem se sobrepor nas mesmas épocas ou em épocas diferentes. Alguns desses sistemas são influenciados pelo albedo e orografia. A figura 2 mostra as regiões preferenciais onde atuam os três principais sistemas que provocam as chuvas no NEB, a ZCIT, as frentes frias e as perturbações/ondas de leste.

Evidentemente, as áreas delimitadas representam uma média de longo período, e os sistemas envolvidos modificam seus deslocamentos e trajetórias dependendo do ano. Os VCAS são transientes, variam muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar, embora possam modificar o tempo em todo o NEB. As Oscilações de 30-60 dias não são muito comuns. As brisas ocorrem na faixa costeira de todo o NEB, em quase todos os meses do ano, e seus efeitos podem ser sentidos até 400 Km dentro do continente. A seguir, serão descritas as principais características de cada um desses sistemas.



**Figura 2.** Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I – ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste. (Fonte: Strang, 1972).

### 2.2.1.1. ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT)

A confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte (alísios de nordeste) e os do Hemisfério Sul (alísios de sudeste) é quem forma a ZCIT. O resultado dessa confluência ocasiona movimentos ascendentes do ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir na atmosfera, o vapor d'água se resfria e condensa dando origem ao aparecimento de nuvens numa faixa que é conhecida como tendo a mais alta taxa de precipitação do Globo Terrestre. A faixa de convergência é facilmente reconhecida em fotos de satélites pela presença quase constante de nebulosidade.

A ZCIT é o principal sistema de produção de chuvas no setor norte do NEB. Sua atuação se dá, principalmente, nos meses de março e abril, e, em muitos anos, está presente nos meses de fevereiro e maio. A figura 1 mostra esse sistema com uma inclinação bastante favorável às chuvas na região. Por outro lado, em anos nos quais a ZCIT não se apresenta sobre a região, todos os Estados sofrem com a redução de chuvas, principalmente o semiárido do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

O eixo da ZCIT varia no sentido norte-sul, durante o ano e acompanha o deslocamento aparente do Sol com um atraso de aproximadamente dois meses, em média. Na faixa do Atlântico/América do Sul, sua posição mais ao norte se dá em agosto-setembro quando alcança 15° N, e sua posição mais ao sul acontece em março-abril quando chega a 2° S.

Essas posições podem variar de cerca de 3<sup>0</sup> a 4<sup>0</sup> graus de latitude para norte ou para sul em alguns anos. Essa variação na posição do eixo médio da ZCIT está associada com a ocorrência de secas (posição mais ao norte) e chuvas acima da média (posição mais ao sul) em conformidade com Caviedes (1972).

O posicionamento da ZCIT pode ser previsto com alguns meses de antecedência partir de características da temperatura da superfície do mar, dentre outras. Contudo, as chuvas intensas ocorridas em algumas áreas sob a influência da ZCIT, geralmente, só são previstas com poucas horas de antecedência, e a melhoria da previsão desses sistemas depende de informações de altitude e de radar meteorológico.

Situações de anomalias climáticas extremas resultando em situações de secas e inundações de grande intensidade tem-se alternado com maior frequência nos últimos anos, demonstrando o agravamento de uma questão que é histórica em toda a região nordeste e no estado do Piauí.

Andrade (2011) observou, estudando a variabilidade da precipitação pluviométrica de um município de Paragominas (PA), para chuva, média mensal, maiores índices no período de dezembro a maio e menores de junho a novembro, coincidindo com os observados para o Piauí, mesmo em se tratando de uma região diferente. De acordo com Molion e Bernardo (2002), isto é sua decorrente do fato da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) migrar de uma posição mais ao norte, cerca de 14°N em agosto-setembro, para a posição mais ao sul, cerca de 4°S, durante março-abril sendo este o principal mecanismo responsável pelas chuvas que ocorrem no norte do Nordeste do Brasil (NNE) durante sua estação chuvosa principal, entre fevereiro e maio.

#### **2.2.1.2. VÓRTICES CICLONES DE AR SUPERIOR (VCAS)**

Os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera ou Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS), também conhecido como baixas frias, figura 5.5, atuam sobre o NEB e outras regiões do Brasil, incluindo Minas Gerais, preferencialmente, entre os meses de novembro e fevereiro.

A atuação dos VCAS ocorre de forma muito irregular e, na dependência de seu posicionamento, podem produzir tanto chuvas intensas como estiagens em qualquer área do NEB ou até mesmo em toda a região. Os VCAS variam muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar. As chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade que circundam o seu centro, enquanto que, neste centro, o movimento de ar inibe a formação de nuvens. Esses sistemas podem permanecer atuando durante semanas. Caso o seu tempo de vida oscile de uma a

três semanas, os períodos de estiagens nas áreas abaixo do seu centro são denominados verânicos.

De modo geral, a variabilidade climática anual é bem caracterizada e está associada às estações do ano. Em latitudes médias é marcante o contraste entre as estações do ano, porém nos trópicos esta variabilidade é menos acentuada, em termos de temperatura, sendo expressiva quando se considera a precipitação de acordo com Gurgel (2003).

Inicialmente, os VCAN foram estudados no HN, chamados “bacia fria”, devido à sua temperatura fria em seu interior e um pouco mais quente em sua periferia, cuja duração pode variar de algumas horas a algumas semanas em conformidade com Palmer (1951).

Simpson (1952) verificou que o deslocamento dos vórtices ciclônicos geralmente é irregular, ocorrendo tendência nas baixas latitudes (10 a 16 °S de deslocamento para oeste e os que se formam na costa leste do Brasil têm seu deslocamento para oeste em direção ao interior do continente). As análises para os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis formados no HN, encontraram uma ligação entre a ocorrência de precipitação intensa ou máxima e sua extensão vertical, ou seja, quanto mais profundo o vórtice maior a precipitação a ele associada.

Um dos primeiros estudos abordando os VCAN na América do Sul foi feito por Aragão (1975), que observou uma circulação ciclônica fria próxima à costa leste do NEB.

Fazendo uso da equação primitiva da instabilidade barotrópica, Mishra et al. (2007) analisaram os períodos, antes e depois da formação do vórtice e reafirmaram que a instabilidade barotrópica da zona de cisalhamento pode excitar o VCAN observado na vizinhança do NEB. A partir dos resultados obtidos neste estudo e em outros trabalhos como os de Mishra e Rao (2001) e os de Mishra, Rao e Gan (2001) se encontra um possível cenário para a formação dos vórtices ciclônicos: em curto espaço de tempo de dois a três dias, antes da formação do vórtice, uma forte zona de cisalhamento latitudinal se desenvolve na região da alta troposfera entre a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Atlântico Sul (CAS). O desenvolvimento desta zona de cisalhamento pode ser atribuído à intensificação, ao movimento relativo favorável e à orientação da AB e sua crista associada ao CAS. Finalmente, concluindo que a instabilidade barotrópica da zona de cisalhamento pode engatilhar a formação do vórtice.

Um escoamento anticiclônico anômalo foi observado ao longo do mês de março, em baixos níveis, e o posicionamento de cavados e vórtices ciclônicos em altos níveis contribuiu para a permanência de uma massa de ar seco e para a ocorrência de chuvas abaixo da média histórica, na maior parte do Alto da Bacia, observado pelos valores negativos; já a análise do escoamento em 200 hPa mostrou a ocorrência de treze episódios de VCAN's, durante o mês de março. De modo geral, a configuração desses sistemas foi notada sobre o leste do Brasil, o que

explica as anomalias negativas de precipitação na maior parte das Regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, reduzindo a vazão afluyente do reservatório de Sobradinho, em abril (BOLETIM CLIMANALISE, 2007), porém nos dias 21, 22, 23 e 24 de março o VCAN contribuiu de forma positiva, na foz da Bacia, o que incrementou nos totais mensais de precipitação no Submédio e Baixo da Bacia.

Costa et al., (2013) utilizaram dados de reanálise do modelo global NCEP/NCAR para o estudo dos casos de VCAN no Nordeste Brasileiro, com a formação da Corrente de Jato no Nordeste do Brasil (CJNEB) no período de 1998 - 2007. Para visualização desses eventos juntos, foram gerados, no software GRADS 3.652, campos de linhas de corrente em conjunto com a magnitude do vento no nível de 200 hPa. A CJNEB acompanha o VCAN na época quente. Dos 467 dias estudados, a intensidade predominante dessas correntes variou entre 20 e 28  $\text{ms}^{-1}$  equivalente a 78% do total de todas as velocidades juntas. A velocidade máxima ocorrida foi de 44  $\text{ms}^{-1}$  em três dias sendo 2 dias no ano 2001 e 1, em 2002. As distribuições espaciais encontradas nas CJNEB permitiram definir três tipos diferentes de padrões de circulação atmosférica: zonal (W-E), transversal (NW-SE ou SE-NW) e meridional (S- N).

Apesar de vários estudos sobre os VCAN's e suas influências no regime pluviométrico do NEB, ainda se conhece pouco da associação de fortes correntes de vento associadas aos VCAN's, tal como suas variabilidades intrassazonais em anos de contrastes climáticos e sua relação com o regime de chuvas no NEB. Esta variabilidade intrassazonal foi estudada primeira por Costa (2010), que verificou que, dependendo da intensidade e do sentido da CJNEB atuando na periferia do VCAN, influenciará no grau de intensidade pluviométrico.

Silva e Silans (2002) analisaram o comportamento da atmosfera em situação de alagamento na cidade de João Pessoa/PB, com o uso do modelo ETA/CPTEC, e deram ênfase às condições de estabilidade da atmosfera pela energia potencial disponível para convecção (CAPE), precipitação e imagens de satélite. As análises do CAPE apresentaram bom desempenho, mas o campo da precipitação quantitativa necessita de melhores ajustes.

Segundo Costa (2010) os VCAN's possuem posições específicas em determinados períodos do ano quando a Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) se encontra presente em sua periferia.

Em particular no Brasil, de todas as variáveis climáticas a precipitação e a vazão são as que melhor caracterizam a variabilidade climática sobre o NEB e, provavelmente, as que impactam mais direta e significativamente com a população enquanto suas variações e mudanças resultam frequentemente, em repercussões econômicas nos meios ambiente, sociais e políticos.

Uma descrição e caracterização de distribuições pluvial e fluvial implicam em uma convivência melhor com fenômenos adversos (Melo Júnior et al., 2006), o que é importante.

Filgueiras (2014) afirma que os ciclones extratropicais acompanhados de ventos acima de  $54 \text{ kmh}^{-1}$  produzem a grande maioria das ondas que chegam às praias; no mesmo artigo ele cita Innocentini, segundo o qual os ciclones extratropicais na América do Sul não se intensificam sobre o continente, como se pensava inicialmente e, sim, no oceano, em torno da latitude de 35 a 45°, ao largo do Uruguai e da Argentina. Esses ciclones surgem, normalmente, no Pacífico, atravessam os Andes junto com as frentes frias e quando chegam ao Atlântico se intensificam: formam ventos fortes e, conseqüentemente, transferem energia, em forma de movimento, para o mar, criando ondas que se propagam até a costa brasileira, sobretudo, entre os meses de abril e outubro.

Hepinaldo (2010) analisou a presença das Correntes de Jatos no Nordeste Brasileiro (CJNEB) presente na periferia do VCAN nos períodos de El Niño e La Niña, e constatou que em anos de El Niño, aumento dos casos CJNEB associado à VCAN, enquanto que em anos de La Niña o número de ocorrências foi praticamente o mesmo que em anos neutros.

Diversos estudos compararam os modelos do CMIP3 com os modelos do CMIP5 verificando redução do viés seco, porém os modelos ainda apresentam dificuldade em simular padrões regionais, conforme: Yin et al., (2012); Roehrig et al., (2013); Biasutti, (2013); Dickinson e Oleson (2006).

Alves (2001) estudou a atuação de um VCAN durante alguns dias do mês de janeiro de 1999 sobre a Região NEB, afirma que este sistema provocou chuvas fortes em várias áreas do semiárido nordestino e teve velocidade média de deslocamento na ordem de  $250 \text{ km dia}^{-1}$ . A Alta da Bolívia (AB) esteve sempre associada à atuação do VCAN e apresentou configuração zonalmente alongada. Constatou-se predominância de movimento ascendente ( $\omega$ ) com maior intensidade na borda do VCAN sobre o continente, enquanto a intensidade máxima ascendente ( $\omega$ ) ocorreu na camada de 900 hPa a 500 hPa. Foi observada, também tendência de aquecimento (resfriamento) na alta troposfera (baixa média troposfera), na região de atuação do VCAN, em especial quando o VCAN esteve localizado sobre o continente.

A influência do VCAN sobre o noroeste da Região Nordeste, região central da Bahia e no semiárido nordestino, durante o verão do hemisfério sul (HS) entre os anos de 1994 a 2001, foi estudada por Silva, (2005); seus resultados foram de grande valia para o entendimento da atuação do VCAN sobre a Região Nordeste. Segundo o autor, os VCANs estudados apresentam alta variabilidade interanual na frequência de ocorrência e intensidade. Esses sistemas têm intensidade média de  $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  e extensão horizontal de  $2.000.000 \text{ km}^2$  vistos através das cartas

de vorticidade ( $\zeta < -2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) em 200 hPa. As três sub-regiões consideradas foram influenciadas pelos VCAN, apresentando redução de precipitação diária; quando estão diretamente sobre a sub-região em questão, a subsidência no centro dos VCAN posicionada sobre regiões dificultou a precipitação.

Segundo Kousky e Gan (1981), os vórtices ciclônicos de altos níveis nas vizinhanças do NEB se formam em virtude da intensificação simultânea da crista associada à AB e ao cavado corrente abaixo do Oceano Atlântico, ocorrendo quando um sistema frontal proveniente do sul do Brasil penetra nos subtropicais e provoca fortes advecções de ar quente no seu lado leste, ampliando a crista de nível superior, e por conservação de vorticidade absoluta intensificando o cavado que se localiza a jusante e forma o ciclone na alta troposfera Sousa et al., (2001), destacaram que nos meses de novembro e dezembro de 2000 os vórtices ciclônicos ficaram semiestacionários, enquanto nos meses de janeiro e fevereiro avançaram sobre o continente com atuação sobre o centro-norte do país. No verão de 2000/2001 os autores observaram maiores atuações dos vórtices ciclônicos na região, permanecendo semiestacionário sobre a Bahia, o que provocou inibição das chuvas no centro-leste do referido estado. O posicionamento geográfico do seu centro de subsidência chega a aumentar os volumes das chuvas, acima de 300% de suas normais ou contribui para a ocorrência de um verão seco e quente nas localidades sobre a região de movimentos descendentes.

Kousky e Gan (1981) observaram maior atuação dos VCAS nos meses de verão, devido ao padrão do escoamento nesta estação, o qual está associado a uma fonte de aquecimento no continente, mais exatamente na região amazônica, enquanto no caso dos meses de inverno não foi observado, visto que a circulação em altos níveis se torna padrão zonal, em razão da falta da fonte de aquecimento.

Vários estudos mostraram que a formação do VCAS ocorre devido à intensificação da AB, associada à precipitação de sistemas frontais, vindos das altas latitudes Kousky e Gan (1981) e Rao e Bonatti, (1987) e, como provável mecanismo destruidor, o aquecimento do continente sobre a área de atuação dos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior.

Kousky e Gan (1981) notaram a existência de uma nebulosidade em forma de “S” associada à circulação em altos níveis, sobre o NEB.

A manutenção dos VCAS, segundo Kousky e Gan (1981) são de transformar energia potencial em energia cinética, através do movimento descendente no centro frio e ascendente na sua periferia.

Lacava (1995) destacou ao estudar a formação e a estrutura dos vórtices ciclônicos que, na sua maioria, os vórtices ciclônicos se originam nos meses de verão, sobre o Oceano Atlântico.

Ramirez (1996) explicou que o deslocamento dos VCAS pode ser tanto regular como irregular, regular no sentido leste - oeste e irregular no sentido oeste-leste.

No mecanismo de formação dos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, segundo Paixão (1999) os vórtices podem ter quatro mecanismos: a formação clássica, que foi sugerida por Kousky e Gan (1981); a formação alta, gerada pela intensificação da ZCAS causando a formação da AB; a formação África I, gerada pela intensificação da convecção na África e a formação África II e, em certos casos, pode-se encontrar um mecanismo de formação atuando logo após o outro.

VCAS são sistemas caracterizados por uma baixa pressão, originados na alta troposfera, possuem uma circulação ciclônica fechada com o centro mais frio que sua periferia; atuam sobre a costa leste do nordeste durante o verão do HS e formam anualmente, seu tempo de atividade, que pode ser de curto dia a semanas, mantendo-se quase estacionários ou os movendo com rapidez e irregularmente, segundo Varejão-Silva (2001).

Para sua formação é necessário que a AB esteja desenvolvida sobre o continente e seu deslocamento de leste ou oeste esteja associado aos deslocamentos de anticiclones acoplados, que se estabelecem junto à costa da África.

### **2.2.1.3. FRENTES FRIAS (FF)**

O deslocamento de frentes frias provenientes de regiões subantárticas, ou instabilidades causadas pelo avanço desses sistemas constitui o segundo principal mecanismo da produção de chuvas no NEB, e o principal para o Sul e Sudeste do Brasil e sul da Bahia. A frequência desses sistemas é de aproximadamente um a cada cinco dias no Sul e Sudeste do Brasil.

As bandas de nebulosidade associadas aos sistemas frontais que penetram no NEB são na verdade, remanescentes de frentes frias que avançam sobre o sul da região nos meses de dezembro a fevereiro.

As frentes frias penetram na região em poucos casos. No leste do NEB (Agreste/Zona da Mata/Litoral), esses sistemas apresentam grande contribuição ao regime de precipitação. Essa sub-região recebe o máximo de precipitação no período de maio a julho, justamente durante o início do inverno do Hemisfério Sul, época em que as frentes frias são mais frequentes.

A frente pode ser considerada linha de intercessão ou zona limítrofe entre duas massas de ar com características diferentes entre si. As características das massas se originam na superfície e se propagam gradualmente para cima; os contrastes entre as massas são significativos nas camadas mais baixas da atmosfera.

Kousky (1979) observou que o maior número de passagens de sistemas frontais pelo sul da Bahia e Piauí corresponde a uma precipitação maior nas áreas sul e oeste do NEB.

Chu (1983) notou que o pico da estação chuvosa no sul do NEB ocorre em dezembro e está associado à penetração de sistemas frontais.

Normalmente, a variação do tempo decorrente das frentes se estende acima de 4,5 Km na vertical embora a variação de temperatura passe a ser significativa até mesmo na tropopausa.

As descontinuidades detectadas nas formações de uma frente podem ocorrer em virtude da ação da temperatura, do vento e da nebulosidade. As descontinuidades pela temperatura na passagem de uma frente são causadas por uma mudança acentuada na superfície.

As frentes mais intensas e bem definidas são acompanhadas por súbitas variações na temperatura e no vento, nas camadas mais baixas da atmosfera. A descontinuidade do vento se caracteriza, sobretudo pela mudança de sua direção; em geral, a velocidade é maior em massas de ar frio.

A chegada de uma frente fria até o Brasil, que penetra pelo sul do País, induz a formação de linha de instabilidade e outros fenômenos que acentuam a formação de precipitações convectivas e exercem efeitos à distância, inclusive de clima tropical e equatorial, o que inclui o sul do nordeste e, obviamente o Piauí.

Os sistemas frontais frios podem causar precipitação na região sul do Brasil de duas maneiras: atuando na região ou quando ainda dela afastados, fornecem condições para o desenvolvimento de LI pré-frontais. As LI são bandas de precipitação que consistem, basicamente, de um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cbs) de diversos tamanhos, que se organizam em linha ou em curva e se deslocam de maneira uniforme mantendo certa identidade durante seu tempo de vida, que varia entre poucas horas até um dia, Silva Dias (1987).

Tavares (2008) realizou um estudo climático dos Sistemas Frontais (SF) no período de 1986 a 2006, que atinge a costa leste do NEB acima da latitude, ao norte de 17 °S (Caravelas/BA) e buscou identificar os sistemas frontais que proporcionavam aumento de nebulosidade na região do CLA e analisou sete eventos, considerando a estação do ano, sendo três eventos do outono austral, um no inverno, um da primavera e dois do verão, concluindo que 420 sistemas frontais se formaram no período de 21 anos estudados e atingiram o NEB, ressaltando que o mês de novembro apresentou maior frequência de sistema frontal atuando na

região do NEB. O autor sugeriu que a variabilidade interanual das incursões frontais no NEB é regida possivelmente, pelos fenômenos El Niño e La Niña. As maiores frequências de incursão dos sistemas frontais estão associadas a La Niña, sendo que nos anos de 1999 e 2000 foram registrados 43 e 47 eventos, respectivamente. Tavares ressaltou que eventos de sistemas frontais que influem na atmosfera da região do CLA atingem, no máximo, a latitude de 14°S; de acordo com essas informações infere-se que os sistemas de frentes que ultrapassarem a latitude 17 °S, independentemente da estação do ano, ocasionaram mudanças nos parâmetros meteorológicos da região de Alcântara.

Característica de deslocamento de um sistema frontal que se formou no sul da América do sul e atingiu o centro-sul da região NEB, Gemiacki (2005) merece ser observada pois casos como este ocorrido entre o final de outubro e início de novembro de 2003 provocaram chuva forte no litoral sul da Bahia, em Sergipe e Alagoas, em que os valores se mantiveram acima da média histórica em conformidade com o Boletim Climanálise (2003).

#### **2.2.1.4. DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOL)**

Os distúrbios de leste, (figura 2), são perturbações de pequena amplitude observadas nos campos de vento e pressão à superfície, atuantes no leste do NEB, desde o Rio Grande do Norte até a Bahia (5<sup>0</sup> a 13<sup>0</sup> S), atingindo, principalmente, a Paraíba e Pernambuco no período de maio a agosto.

Apesar da sua pequena amplitude, as ondas de leste podem produzir chuvas intensas e inundações, particularmente em áreas costeiras, e podem penetrar até 400 Km dentro do continente. Devido à sua pequena amplitude, as ondas de leste são muito melhor observadas em campos do vento e em imagens de radar meteorológico. As imagens de radar podem informar, inclusive, as quantidades de água precipitável.

Os modelos atuais só detectam a aproximação desses sistemas com menos de 12 horas de antecedência devido principalmente ao fato de que não existem dados no oceano adjacente ao NEB. O Projeto PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic), coordenado pelos cientistas Antônio Divino Moura (Brasil/U.S.A.) e Jacques Servain (França) pretende mudar esse quadro com a instalação de bóias cativas com estações automáticas, no Oceano Atlântico Tropical.

Os Distúrbios de Leste são sistemas que apresentam produção de chuvas; em geral, nos meses de maio a agosto, ao longo da costa leste, desde o norte do Rio Grande do Norte até a Bahia; seu deslocamento se dá na direção leste - oeste, em direção ao continente, a sua intensidade depende da TSM, do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da

circulação de Brisas Marítima e Terrestre, de forma a intensificar ou dissipar este sistema. O principal período chuvoso ocorre nos meses de abril a junho (Araújo, 2006; Tanajura et al., 2010). As chuvas são no litoral ainda explicada pela modulação dos ventos alísios e, da Alta Subtropical, pelos vestígios de sistemas frontais e pela posição dos VCAN's (Tanajura et al., 2010).

#### **2.2.1.5. LINHA DE INSTABILIDADE (LI)**

A linha de instabilidade (LI) pode ser apresentada como fragmento de massa de ar, ocasionando uma frente fria. Este fragmento se mostra como uma onda que chega a até 200 km antes de uma frente e, neste caso particular recebe o nome pré-frontal.

As linhas de instabilidade tropical estão associadas com a ondulação da frente polar; se formam em número de uma ou duas, ao norte da frente polar, apresentam orientação norte-sul e se deslocam de oeste para leste ou sudeste, com velocidade de até  $60 \text{ Km h}^{-1}$ , podendo permanecer semi-estacionárias. À medida que a frente polar caminha para o Equador, as linhas de instabilidade tropicais caminham para leste, ocorrendo de 24 a 48 horas antes da chegada da frente, que pode não chegar. Um número considerável de pesquisas tem tido, como centro, a invasão de massa de ar frio, que penetra na faixa dos ventos alísios bem à retaguarda das depressões de altas camadas. E as linhas de instabilidades que se formam na Costa.

Ribeiro et al., (2013) analisaram a relação entre distúrbio ondulatório de leste, formação de linha de instabilidade e volume de chuva, no estado da Paraíba. O distúrbio atuou no período de 15 a 17 de julho de 2011; sua propagação e chegada ao Nordeste do Brasil foram detectadas em diagrama tempo-longitude da componente meridional do vento no nível de 600 hPa e sua atuação se caracterizou pelo desenvolvimento de convecção profunda linearmente organizada numa estrutura de linha de instabilidade, na noite dos dias 15 e 16. Perfis termodinâmicos mostram elevado teor de umidade na baixa troposfera, abaixo de uma inversão térmica de subsidência típica da área dos ventos alísios, antes da formação das primeiras células de convecção profunda. O desenvolvimento e a organização da convecção profunda na noite do dia 15 ocasionou o umedecimento de toda a troposfera, condição esta que se manteve até o dia 17. Ventos com intensidade moderada do quadrante sudeste na baixa e média troposfera, precederam a formação de linha de instabilidade na noite do dia 15 ventos fracos e com direção variável foram observados nos dias 16 e 17. Foram grandes os volumes de chuva no leste da Paraíba; nas duas maiores cidades do estado os totais pluviométricos foram elevados: 80 mm em João Pessoa, no dia 16, e 110 mm em Campina Grande, no dia 17.

As linhas de instabilidade (LI) tropicais são associadas com uma ou mais bandas de cumulonimbus em orientação meridional. Ventos fortes, tempestades e fortes precipitações acompanham essas linhas.

As linhas de instabilidade (LI) são bandas de nuvens causadoras de chuvas, normalmente do tipo cúmulos organizados em forma de linha; as LI têm aumentos significativos nos meses de fevereiro e março devido à aproximação da ZCIT.

Segundo Vianello e Alves (2000) são chamadas linha de instabilidade, em virtude da sua forma alongada que assumem; no continente sul-americano ocorrem no interior da massa equatorial continental e o forte aquecimento diurno desempenha papel de destaque em sua formação. Os dias calmos e de céu azul ocorrem, em sua grande maioria na estação do verão; com a incidência da radiação solar sobre a região tropical, se inicia o processo de desenvolvimento cúmulos a cumulonimbus com ampliação rápida, provocando pancadas de chuvas fortes, seguidas de rajada de ventos, granizos e com ocorrências de descargas elétricas ou trovoadas.

Outro fenômeno que também pode influenciar na distribuição das chuvas na região, é o El Niño, Alves et al., (2002); Oliveira, (1999); Menezes et al., (2003), os Complexos Convectivos de Mesoescala, a ZCAS e banda de nuvens associadas as frentes frias.

De acordo com Barbosa et al., (2004) o alto teor de umidade em baixos níveis, associado com a estrutura termodinâmica instável e convergência em baixo em grande escala, explica a ocorrência de sistemas profundos, formadores de chuvas intensas, enquanto o cisalhamento do vento contribui para a formação de correntes ascendentes e descendentes, que fazem a manutenção dos sistemas precipitantes causadores de chuvas máximas na região do semiárido nordestino.

As LI são sistemas meteorológicos de mesoescala os quais produzem instabilidade convectiva no NEB (Loureiro et al., 2006). As LI's originadas próximo à costa do NEB resultam da convecção induzida pela brisa e pelos ventos alísios de sudeste, somados ao gradiente de pressão gerado pelo contraste térmico entre continente e oceano de conformidade com Guedes e Oyama (2004) e atuam com frequência sobre a região da camada limite de Alcântara (MA).

#### **2.2.1.6. ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS)**

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) consiste numa banda de nebulosidade semi-estacionária, que se estende desde o sul da Amazônia, passando pela Região Centro-Oeste e prolongando-se para o Oceano Atlântico, acarretando chuvas que podem ser intensas.

A ZCAS é caracterizada como uma banda de precipitação e nebulosidade que se estende desde a Amazônia até o sudeste do Brasil, se estendendo pelo oceano. Trata-se do principal sistema de grande escala responsável pelo regime de chuvas sobre o Brasil durante o verão austral (Outubro a Março). A ZCAS pode ser identificada por imagens de satélite diárias no IV. Outra forma de identificarmos por satélite é usarmos o campo de onda longa emergente (ROL). Nos campos de ROL, os valores mais frios identificam a forma e a extensão da ZCAS. Podemos também identificar a ZCAS no campo de divergência dos ventos, ou no campo da umidade. Detalhes sobre o uso de outros campos na identificação da ZCAS que não imagem de satélites é coberta nos cursos de sinótica deste departamento. Aqui, iremos nos concentrar no uso de satélites para este propósito.

Durante o experimento meteorológico de verão do LBA notou-se (Carvalho et al. 2002, Petersen et al. 2002) que os sistemas de mesoescala mais profundos (topos mais frios ou sistemas com maiores descargas elétricas e chuvas) são favorecidos durante os períodos de ‘quebra’ da ZCAS e não durante as fases em que a mesma está mais ativa. Isto deve ser criado pelas próprias condições de instabilidade ou, possivelmente, até mesmo de alteração de aerossóis, geradas pela mudança de regime de ventos entre o período ativo (quando as anomalias são de oeste) e de quebra (quando as anomalias são de leste) da atividade convectiva na ZCAS.

Diversas escalas espaciais e temporais colaboram para a variabilidade observada da ZCAS. Por exemplo, a ZCAS possui um ciclo diurno na sua convecção dirigido pelo ciclo solar diurno. Durante as primeiras horas do dia, a convecção é, em geral, menos desenvolvida, mas à medida que o aquecimento diurno ocorre, as nuvens convectivas se desenvolvem. Um máximo da convecção é, em grande parte das vezes, observado no final da tarde e começo da noite.

A convecção na ZCAS pode também pulsar devido a outras causas. Em escala sinótica, por exemplo, a chegada de frentes frias vindas de latitudes mais altas pode interferir na atividade convectiva da ZCAS. A persistência da mesma pode ser um resultado da chegada de tais frentes frias.

Climatologicamente a ZCAS pode ser identificada, na composição de imagens de satélite, como uma banda de nebulosidade de orientação NW/SE, estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul (Kousky, 1988), ou ainda em padrões de distribuição de radiação de onda longa (Carvalho et al., 1989). O estudo observacional feito por Kodama (1992) mostrou diversas características comuns entre a ZCAS, a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a Zona Frontal de Baiu, chamadas, de uma forma geral, de Zonas de Convergência Subtropical (ZCST). Essas características comuns seriam:

- Estendem-se para leste, nos subtropicais, a partir de regiões tropicais específicas de intensa atividade convectiva;
- Formam-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semiestacionários;
- São zonas de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica;
- Estão localizadas na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial. Especificamente em relação à ZCAS, esses resultados foram também confirmados por Quadro (1994).

A ZCAS é um dos principais fenômenos responsáveis pela variabilidade intrassazonal durante o verão na América do Sul, sendo responsável por períodos prolongados de precipitação sobre a região Sudeste do Brasil. Este sistema meteorológico apresenta complexidade em sua estrutura, e no mecanismo de formação, manutenção e desintensificação (Kodama, 1993). Forma-se devido à presença de sistemas frontais semiestacionários sobre a região sudeste do Brasil, os quais perduram, no mínimo, por quatro dias. Vários estudos mostram a importância da ZCAS na transferência de calor, momento e umidade das latitudes tropicais para as latitudes subtropicais segundo os autores Grimm e Silva Dias (1995); Gandu e Silva Dias (1998).

Em escala de tempo interanuais, o fenômeno El Niño exerce papel importantíssimo na variabilidade da monção na América do Sul e na ZCAS, inclusive na ocorrência de eventos extremos de precipitação (Liermann et al., 1999; Nogués-Paegle et al., 2002; Carvalho et al., 2002, 2004; Veras et al., 2006). Recentemente, Drumond e Ambrizzi (2006) investigaram a variabilidade entre eventos de El Niño e mudanças no padrão de gangorra na precipitação na América do Sul e concluíram que o deslocamento da convecção na Indonésia e no Pacífico Oeste, associado ao El Niño, modula a variabilidade no padrão da gangorra.

Como consequência da intensificação ocorre um aumento de aproximadamente duas vezes na frequência de ocorrência da ZCAS com intensa atividade sobre o oceano. Esta observação é consistente com os resultados indicados em Ferreira et al. (2004) e Liebmann et al., (2001), os quais ressaltam um aumento da contagem de eventos extremos em associação com anomalias positivas de temperatura a leste da linha da data no Pacífico Equatorial.

A metodologia descrita em Carvalho et al. (2002) foi posteriormente (2004) utilizada por eles para compreender possíveis mecanismos relacionados com a variabilidade de intensidade e de forma da ZCAS. Esses estudos mostraram que a intensidade da ZCAS pode ser considerada, independente de sua extensão sobre o oceano, isto é, pode-se observar intensa e

persistente atividade convectiva sobre o continente sem, necessariamente, haver uma atividade correspondente convectiva sobre o oceano.

Esta migração do jato é favorecida durante fases quentes do El Niño como consequência da migração da convecção Indo-Pacífico. Análises de episódios ZCAS com metodologia distinta, como em Ferreira et al. (2004) parecem corroborar com a observação de que a atividade oceânica mais intensa é favorecida durante as fases quentes do El Niño.

Barreiro et al. (2002, 2005) sugeriram, por meio de experimentos numéricos, que sinais com escalas interanuais e decanais na TSM no Atlântico Sul modulam mudanças na intensidade e deslocamentos da ZCAS, em direção às águas mais quentes.

## **2.3. SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS**

### **2.3.1. ENOS**

O ENOS é um dos principais fenômenos de teleconexão responsáveis por extremos climáticos de precipitação no NEB, segundo Silva (2007). O Oceano Pacífico tropical provoca ao aquecer suas águas, geralmente frias a leste, de forma anômala como consequência mudanças na circulação de grande escala na atmosfera.

A Oscilação do Sul é a anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea ao El Niño, associada a mudanças na circulação geral da atmosfera. Nos anos de El Niño, a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico e aumenta no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e a mudança dos ventos alísios aumentam os movimentos ascendentes, formam mais nuvens e produzem mais chuvas. Os movimentos ascendentes acelerados e o calor latente de condensação modificam a circulação geral, causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical, principalmente no sentido zonal. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e reduzem a precipitação, como no caso do norte do NEB e da Indonésia. Nas regiões extratropicais, a circulação da atmosfera é alterada, causando o fenômeno de bloqueio e mudando a trajetória e intensidade dos sistemas frontais, provocando chuvas como no caso do Sul do Brasil.

### **2.3.2. DIPOLO DO ATLÂNTICO**

Dipolo do Atlântico causa variação de precipitação no NEB e na África. O dipolo do Atlântico é uma mudança anômala na temperatura da água do mar no Oceano Atlântico Tropical. Esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera (Hadley) e inibe ou aumenta a formação

de nuvens sobre o NEB e alguns países da África diminuindo ou aumentando a precipitação. Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o NEB e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens reduzindo a precipitação, podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical sul estão mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o NEB e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens e aumentando a precipitação e causando enchente, em muitas ocasiões.

Os períodos de duração das secas e enchentes vão depender do período de atuação, duração, intensidade e cobertura do ENOS e do Dipolo do Atlântico. Os episódios podem ser considerados muito fracos, fracos, moderados e fortes dependendo do valor da temperatura da água do mar, a extensão e o período de atuação de acordo com Aragão (1990).

### **2.3.3. OSCILAÇÃO DE MADDEM JULIEM**

Fatores em escalas mais longas que a sinótica podem também interferir na atividade da ZCAS. Por exemplo, a chamada oscilação de 30-60 dias (também conhecida como Oscilação de Madden-Julian – Madden and Julian 1994) também pode interferir na persistência da ZCAS. A MJO (como também é conhecida em inglês) é um fenômeno caracterizado por anomalias de ROL e precipitação que se propagam com período entre 30-60 dias sobre as regiões equatoriais. Estas anomalias geram padrões de circulação nos trópicos que podem afetar a ZCAS dependendo da fase da MJO. Quando a convecção relativa à MJO é mais ativa no Pacífico central, é a fase principal para que a convecção sobre a ZCAS torne-se igualmente ativa. Na fase da MJO quando a convecção está mais ativa sobre a Indonésia, induz a uma supressão sobre a ZCAS.

A sazonalidade das precipitações 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.

#### **2.3.4. EL NIÑO E LA NIÑA**

Philander (1990) chamou a atenção para o fato do El Niño e La Niña não serem desvios temporários e anormais de algum estado “normal” intermediário, mas fases opostas de um mesmo fenômeno.

Uvo et al., (1994) obtiveram evidências de que em anos extremamente secos ou extremamente chuvosos no norte do Nordeste, ocorrem em associação com valores anormalmente altos e baixo da TSM, no Pacífico Equatorial e no Atlântico Sul.

Além do conhecido ENSO, outras anomalias climáticas afetam a dinâmica do clima no Brasil, em especial a precipitação, como as oscilações intrassazonais 30-60 dias de Madden-Julian Oscillation (MJO), os sistemas intertropicais, como os VCAN na região nordeste e as ZCAS no sul e sudeste, entre outros, Kiladis e Mo, (1998); Cunningham e Cavalcanti, (2006).

#### **2.3.5. DESCRIÇÃO DO EL NIÑO**

A fase quente da Oscilação Sul, fenômeno El Niño ou episódio quente do ENOS, é caracterizado pelo aquecimento anômalo ou anormal das águas do Pacífico tropical central e leste, desde a costa oeste da América do Sul. O aquecimento e o subsequente resfriamento duram de 12 a 18 meses, tendo início no começo do primeiro ano, atingindo sua máxima intensidade durante dezembro - janeiro e terminando na metade do segundo ano, mas não existe um ciclo bem definido.

Segundo o CPTEC/INPE (2000) o fenômeno El Niño é repetitivo, mas não possui um período regular, reaparecendo no intervalo de três a cinco anos.

Em anos de El Niño ocorre mudança de inclinação na "gangorra barométrica" de Walker, isto é, as pressões mais baixas na região da Indonésia e do norte da Austrália tendem a aumentar, diminuindo o movimento ascendente e, paralelamente, sobre a região do Pacífico Sudeste, próximo da América do Sul, ocorre diminuição correspondente à pressão da superfície e, conseqüentemente, diminuição de movimento descendente; Como resultado, enfraquece os ventos Alísios, reduz a velocidade das correntes marinhas e diminui o fenômeno da ressurgência na costa do Peru e Equador, provocando um aumento rápido da temperatura da superfície do mar, em toda a faixa equatorial do Pacífico, além de diminuir a disponibilidade de plâncton e peixes.

O aquecimento das águas na região do Pacífico é mais acentuado na costa noroeste da América do Sul; verifica-se, então, um deslocamento do ramo ascendente da Circulação de Walker para leste, o que provoca convecção nas regiões próximas às costas do Peru e Equador, que normalmente não ocorre.

A célula de Walker enfraquece e entra em funcionamento a célula de Hadley ou Circulação de Hadley, a qual possui movimento norte-sul; esta célula intensifica o jato subtropical que sopra da região do Pacífico abaixo do equador para o norte do Chile e Sul do Brasil, favorecendo bloqueios atmosféricos de sistemas de tempo, tais como das frentes frias, as quais permanecem estacionárias sobre a Região Sul do Brasil (CPTEC/INPE, 2000) conforme demonstrativo abaixo.

### **2.3.6. IMPACTOS DO EL NIÑO NO GLOBO E NO ESTADO DO PIAUI**

Schott (1931 apud Galvêncio, 2000) foi quem primeiro descreveu extensivamente as características do fenômeno El Niño, próximo ao mar, com base em observações dos eventos de 1925-1926.

Bjerknes (1969) dando continuidade ao estudo de Schott (1931) descreveu e documentou o El Niño; ele afirmou também que os Alísios sobre o Oceano Pacífico tropical abastecem de umidade o fenômeno que é dominado pelo gradiente de temperatura à superfície. O aquecimento das águas superficiais do Pacífico interfere no regime de ventos e, portanto, no deslocamento das nuvens e no regime das chuvas, gerando alterações significativas no clima de todo o planeta.

Kousky et al., (1984) estudaram, dentre outros pesquisadores, a influência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) sobre a variabilidade climática interanual da América do Sul chuvas deficientes foram identificadas em vastas áreas, incluindo o NEB e a Amazônia e o excesso de chuva no Sul do Brasil, além da parte da costa do Peru e Equador, durante episódios ENOS.

Conforme Ropelewski e Halpert (1987) em anos de ocorrência de ENOS os ventos diminuem, chegando a inverterem em algumas áreas, na faixa tropical, o sentido (soprando de oeste para leste).

Aragão (1990) afirmou que existe grande probabilidade de ocorrerem secas no NEB. Esta ocorrência está associada, em 70% dos casos, aos episódios do ENOS moderados a forte. A influência deste fenômeno é mais forte ao norte do NEB, norte do estado do Maranhão e dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba e na região norte da Bahia.

Segundo Cane (1992) a fase El Niño da Oscilação Sul provoca impactos climáticos não apenas na Bacia do Pacífico. O El Niño de 82-83 causou impactos climáticos importantes e desastrosos em metade do planeta, cujos prejuízos foram estimados em milhões de dólares, o que culminou em tempestades tropicais para o deserto do Arizona, maremotos para o México e inundações para o Rio Grande do Sul. A África enfrentou, portanto, uma das maiores secas de sua história, no ano de 1999. Quando a chuva diminui em regiões como a Amazônia brasileira e no sudeste australiano, focos de incêndio se multiplicam e uma parcela da mata é consumida pelo fogo.

Mechoso e Perez-Iribarren (1992 apud Gomes Filho, 2000), investigaram as relações entre o Índice de Oscilação Sul (IOS) e as vazões em dois grandes rios da parte sudeste da América do Sul, Uruguai e Negro, para o período de 1909 a 1989, encontraram que as vazões em ambos os rios apresentam clara tendência de serem abaixo da média no período de junho a dezembro, nos anos com índices positivos de IOS (eventos frios no Pacífico equatorial) e ligeira tendência de estar acima no período de novembro a fevereiro, em anos de El Niño.

Gomes Filho (2000) apresentou uma análise das influências dos sistemas atmosféricos de meso e grande escala sobre os recursos hídricos armazenados nos principais reservatórios de água na Paraíba, encontrando que os valores dos reservatórios dependem dos eventos de mesoescala com maior influência no mês de março e que nos anos de El Niño essa atividade é bastante reduzida, com repercussão nos volumes mensais desses reservatórios. Portanto, é possível se estimar uma provável redução nos volumes desses reservatórios de um estabelecido evento de El Niño.

De acordo com Silva (2000) o El Niño causou, de 1997/1998 ocorrências rigorosas climáticas globais, atingindo os dois hemisférios numa sequência de tempo alternada, ora pelas condições térmicas, com ondas de calor afetando a saúde de grandes populações e propiciando incêndios de grandes proporções, ora pelas tempestades ou pelas chuvas torrenciais, arruinando a agricultura, deixando centenas de milhares de pessoas desabrigadas, em situações de calamidade pública. Em meados de 1998, na fase final do El Niño, constatou-se ocorrência de enchentes devastadoras na China, além de grande seca, que assolou o território do México e sul dos Estados Unidos da América.

Souza Filho et al., (2002) verificaram, estudando o impacto do ENSO na influência de reservatórios do sistema hidroelétrico brasileiro que em 60% dos anos em que ocorreram episódios quentes do Pacífico, a vazão no reservatório de Sobradinho no verão foi igual ou inferior a  $4.400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , ao passo que em 60% dos anos sem El Niño, a afluência no

reservatório foi de até  $5.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Ao mesmo tempo, se ressalta que vazões acima de  $6.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  são muito pouco prováveis em anos de El Niño, em contraste com uma probabilidade significativa de aproximadamente 15% para a ocorrência desses valores de afluência em anos de La Niña ou neutros. Ainda foi observado que a probabilidade da ocorrência de anos críticos é menor durante anos de El Niño (11,8%) do que em anos de La Niña e neutros (25,6%).

Os impactos provocados pelo EL Niño no estado do Piauí vão desde a redução nos índices de precipitações na região dos cerrados os quais reduzem os plantios e consequentemente, a produtividade de grão. Na região do semiárido, onde mesmo em períodos normais de ocorrência de índices pluviométricos entre a normalidade e acima da média, eles se apresentam com chuvas variando no tempo e no espaço, muitas das vezes os índices pluviométricos não são capazes de auxiliar ou contribuir para o reabastecimento dos níveis de águas nos reservatórios e a plantação familiar ou de sequeiro é totalmente inviável.

Esses impactos são decorrentes de chuvas de curtos períodos de tempo que provocam alagamento, acabando ainda mais os plantios de baixios. A população só tem água potável através do sistema de carro-pipa, aumentos significativos e de grandes proporções nos focos de queimadas e incêndios. Baixa quantidade de umidade relativa do ar é registrada, proporcionando maiores internações de urgência dos recém-nascidos, adolescente e terceira idade.

As vazões dos Rios Poty e Parnaíba chegam aos valores mínimos registrados conforme informações CHESF.

### **2.3.7. DESCRIÇÃO DA LA NIÑA**

Philander (1990) e Marin e Sentelhas (1997) definiram a fase fria da Oscilação Sul (ENOS) como La Niña e ocorre como consequência do resfriamento anormal da corrente de Humbolt. Em anos de La Niña a região Sul do Brasil sofre seca enquanto as chuvas se intensificam na região NEB.

Segundo CPTEC/INPE (2000) o La Niña também pode variar em intensidade em geral, o episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano e se dissipa em meados do ano seguinte, durando de 10 a 15 meses.

O ramo descendente da circulação de Walker intensifica o sistema de alta pressão sobre o Pacífico sudeste, preferencialmente junto à costa do Chile, provocando ausência de nuvens causadoras de chuva neste setor do Pacífico; com isto, aumenta o movimento de

ressurgência em associação com a amplificação da circulação marinha de Humbolt adjacente à costa oeste da América do Sul.

O ramo secundário da circulação de Walker (Bjerknes, 1969) que ascende sobre o norte da América do Sul e descende sobre a região do Oceano Atlântico intensificando-se em anos de La Niña, favorece o aumento das chuvas sobre o setor norte do continente Sul-americano.

### **2.3.8. IMPACTO DA LA NIÑA NO GLOBO E NO ESTADO DO PIAUÍ**

Durante os episódios de La Niña os ventos Alísios são mais intensos que a média climatológica, empilhando as águas mais aquecidas na porção ocidental da Bacia do Pacífico tropical. Com a maior exposição das águas frias no Oceano Pacífico tropical leste e central, se registram temperaturas superficiais abaixo dos valores médios (anomalias negativas) enquanto em áreas próximas do continente australiano as anomalias tendem a ser positivas.

Eventos de La Niña têm sido associados à ocorrência de estações chuvosas mais úmidas que o normal na região do NEB (Alves e Souza, 1997). Também indicaram que para três tipos de La Niña, forte, moderado e fraco, observados na Bacia do Oceano Pacífico tropical, a distribuição de chuvas sazonais (fevereiro a maio) e intrassazonais no setor norte do NEB se configura em torno ou acima da média climatológica, que é de aproximadamente 850 mm/ano para este período.

Segundo o CPTEC/INPE (2002), os principais efeitos do La Niña observados sobre o Brasil são:

- Passagem rápida de frentes frias sobre a região Sul do Brasil, com tendência de redução na precipitação;
- Temperaturas próximas da média climatológica ou ligeiramente abaixo da média, durante o inverno;
- Chegada das frentes frias até a região Nordeste, principalmente no litoral dos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas;
- Tendência de chuvas abundantes no norte e no leste da Amazônia;
- Possibilidade de chuvas acima da média sobre a região semiárida do NEB. Essas chuvas só ocorrem se, ao mesmo tempo, a La Niña e as condições atmosféricas e oceânicas sobre o Oceano Atlântico se mostrarem favoráveis, isto é, com TSM acima da média no Atlântico tropical sul e abaixo da média no Atlântico tropical norte.

O CPTEC/INPE (2002) afirma que em alguns lugares, como no Sul do Brasil, durante o forte evento de La Niña de 1988/89, a estação chuvosa de setembro a dezembro de 1988 teve um mês de muita seca e os demais meses da estação foram de chuva normal ou ligeiramente acima da média. Durante o episódio fraco de 1995/1996, o esfriamento do Pacífico não foi tão intenso, mas o período chuvoso de setembro a dezembro de 1995 mostrou que durante todos os meses ocorreu chuvas abaixo da normal climatológica.

Impactos do fenômeno El Niño e La Niña – que modulam conjuntamente uma grande parte da variabilidade interanual do clima sobre a América do Sul – têm sido observados nas regiões do país, mais intensamente nas regiões Norte, Nordeste (secas durante El Niño) e Sul do Brasil, que apresenta seca durante a La Niña e excesso de chuva e enchentes durante o El Niño (MMA, 2007).

Os impactos provocados pela La Niña no estado do Piauí vão desde grande aumento nos índices de precipitações na região dos cerrados onde ocorrem os maiores plantios e em contrapartida uma produtividade de grão maior. Na região do semiárido, onde mesmo em período normais de ocorrências de índices pluviométricos entre a normalidade e acima da média, eles se apresentam com chuvas variando no tempo e no espaço, muitas vezes os índices pluviométricos são capazes de auxiliar ou contribuir para o reabastecimento dos níveis de águas nos reservatórios e a plantação familiar ou de sequeiro é totalmente viável.

Os impactos são decorrentes chuvas de curtos períodos de tempo os quais provocam alagamento, enchentes e inundações acabando ainda mais com os plantios de aclives mais elevados. A população tem água potável armazenada através do sistema de cisternas, pequenos barreiros, açudes de pequeno médio e grande porte, entre outros sistemas utilizados na região.

O desenvolvimento dos pastos se torna amplo e fértil, incêndios e focos de queimadas só ocorre através das práticas tradicionais dos agricultores, a alta umidade relativa do ar provoca melhores condições à saúde reduzindo as internações dos recém-nascidos, adolescente e de terceira idade.

Reduções de preços nos alimentos (grão, hortigranjeiros e agropecuários) têm reduções significativas e ocorrem faturas para as famílias que trabalham na agricultura de sequeiro e familiar.

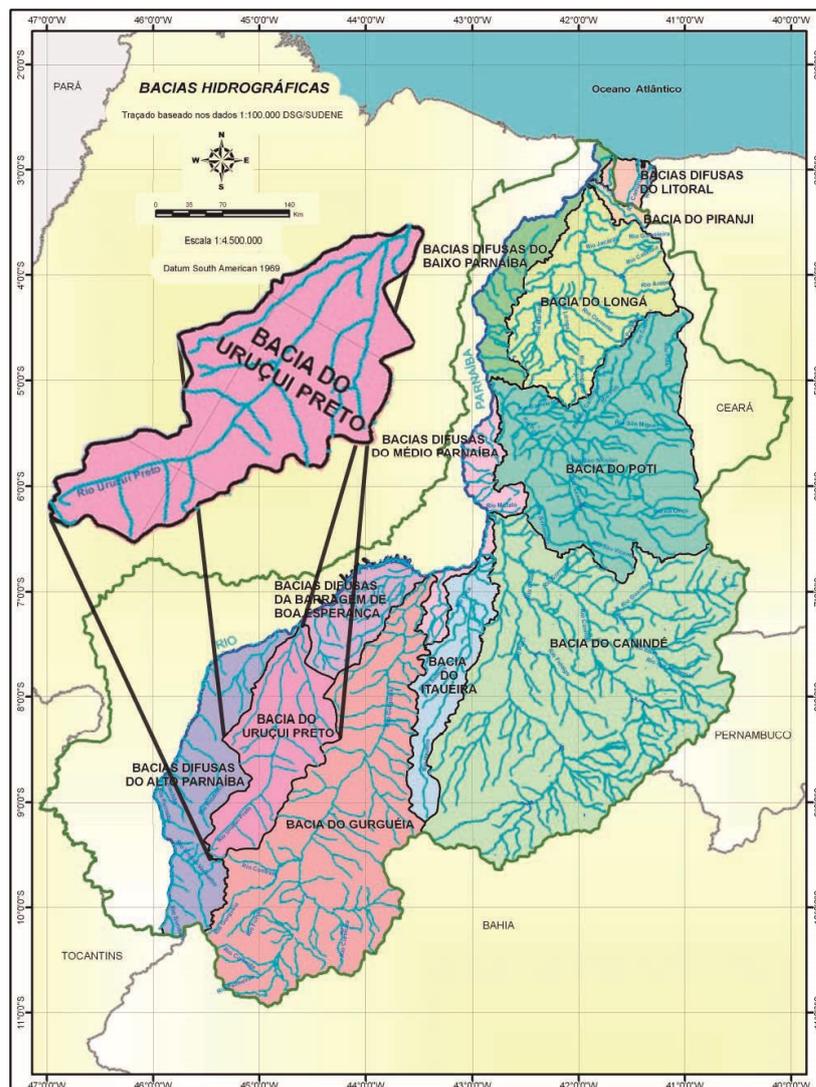
A La Niña, ao contrário do El Niño, é representada pelo resfriamento anormal das águas do Pacífico e pelos Ventos Alísios mais intensos do que a média climatológica. O fenômeno La Niña também desempenha impactos consideráveis nas atividades humanas no NEB, sobretudo quando da precipitação.

Na atualidade, é notória a existência de fenômenos oceânicos capazes de interferir significativamente no clima global. Dentre os mais divulgados, o El Niño, fenômeno oceânico caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial, ocorre em escala interanual e os eventos de fases quentes (frias), denominados El Niño (La Niña); Esses eventos causam anomalias climáticas em várias áreas do globo (Bjerknes, 1969).

### 3.1. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUÇUÍ PRETO

A região 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 do rio Uruçuí Preto se encontra 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 área integra, total ou parcialmente, 6 folhas na escala 1:250.000 e se situa 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 (Figura 3).



**Figura 3.** Localização da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto no estado do Piauí (escala 1:1.000.000). Adaptada por Medeiros (2014).

Em conformidade com a COMDEPI (2002) a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (BHRUP) evidencia um único conjunto de formas de relevo regional, dominadas pelas formas tabulares-planaltos e platôs, característicos das rochas sedimentares sub-horizontalizadas. Apenas o Planalto da Bacia Sedimentar do Parnaíba é identificado como unidade morfoestrutural na região e além de se localizar na porção centro-oriental da Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão é constituída por uma sequência de sedimentos arenoargilosos, compondo as diversas formações sedimentares.

Segundo a EMBRAPA (1986) as três classes mais frequentes de solos identificadas na bacia do rio Uruçuí Preto são Latossolos Amarelos (predominantes na bacia), Neossolos e Neossolos Quatzarêncios e Hidromórficos.

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

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

- 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; a superfície do solo é recoberta por um estrato gramíneo de capim agreste; e
- a começar das vertentes entre o topo das chapadas e o trecho plano por onde corre o rio Uruçuí Preto; Nesta vertente o cerrado se desenvolve de forma mais fechada, composto por espécies de maior porte, entre as quais o pau d'arco e o Gonçalo Alves.

A bacia é composta de regiões assoladas por eventos sinóticos locais, regionais a mecanismos de grandes escalas proporcionando eventos de secas, enchentes, inundações, alagamentos, transbordamento de rios, açudes, lagoas, lagos e córregos; na sua maioria, o escoamento dos rios nas cabeceiras é temporários devido à má distribuição dos índices pluviométricos na região piauiense, o período chuvoso com os aumentos das suas cotas pluviométricas provoca um aumento significativo no escoamento em que a maioria é represada

em grandes e médias barragens e seu excesso após os represamentos escoam lentamente para o oceano em virtude do relevo e de seu curso básico das águas.

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 (dependo 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).

As chuvas na área da BHRUP ocorrem entre os meses de outubro a março, com o trimestre mais chuvoso nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, representando em torno de 65% dos índices anuais das chuvas (quando em épocas de período entre a normalidade); o período chuvoso coincide com a época das penetrações ou das atividades das frentes frias mais intensas, que atingem a área estudada; outro fator que contribui para as atividades das chuvas são as formações dos VCAS, quando do seu posicionamento adequado e o auxílio das contribuições locais e regionais, Medeiros (2009).

Alguns aspectos geográficos conferem, ao Piauí, excelentes condições de potencialidade hídrica. Com efeito, situado na bacia sedimentar do rio Parnaíba, que conta com caráter perene, e uma extensão de 1.485 km, uma vazão média da ordem de  $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  sendo o menor fluxo em torno de  $280 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no seu trecho superior. Pelo seu leito são drenados cerca de 20 bilhões de  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$  (CHESF, 2000).

Os postos fluviométricos existentes em Barra do Lance, município de Jerumenha e Cristino Castro, mostram vazões médias de  $6,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $6,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no trimestre mais seco e vazões médias, respectivamente, de  $90,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $54,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , no trimestre mais chuvoso (CHESF, 2000).

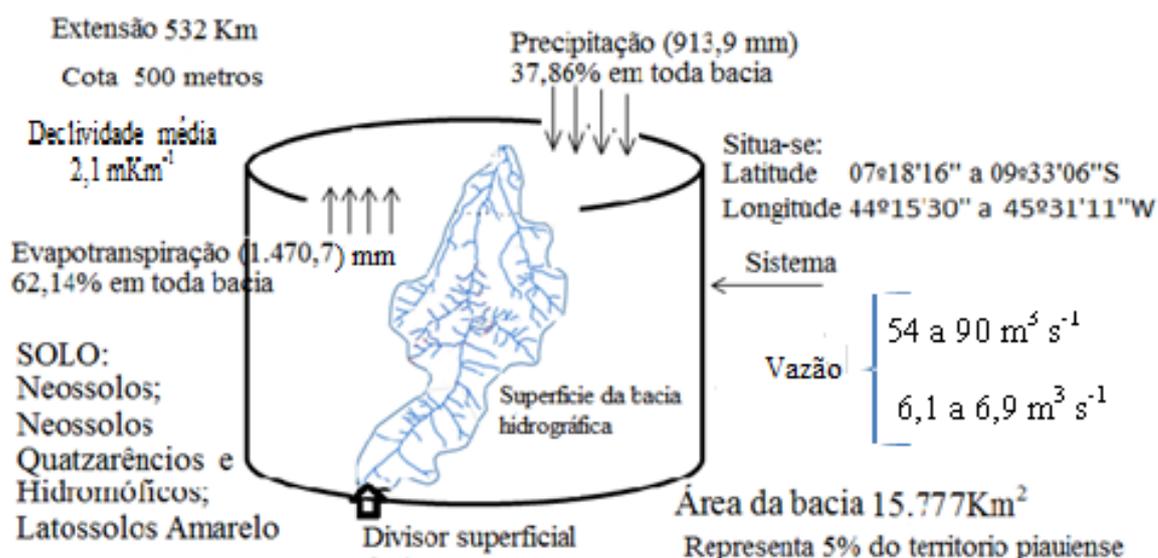
Parte relativamente pequena da bacia, é constituída de terrenos cristalinos; entretanto, na maior parte da área afloram sedimentos da bacia sedimentar do Parnaíba.

As atividades produtivas humanas quase sempre modificam os aspectos naturais presentes nos territórios nas quais é desenvolvida, como a pedologia, a geomorfologia, a vegetação, ou seja, o meio ambiente que, de alguma forma, se encontra inserido no contexto de uma bacia hidrográfica, que pode vir a sofrer drásticas transformações e modificações no tocante à sua dinâmica natural criando, assim, ambientes artificiais. As formas de relevo fluviais são elaboradas por meio do escoamento concentrado de água em canais fluviais; esse escoamento, cujo volume depende do regime hidrológico da bacia hidrográfica, funciona como um dos agentes modeladores do ambiente onde esta bacia está inserida (Florenzano, 2008); sua alteração corrobora para a criação de uma nova forma de estruturação do ambiente que, se não receber

adequações para sua utilização pode agir como potencializador do risco gerando, então perdas econômicas e de vidas humanas, vegetais e animais.

Na Figura 4 se visualizam os valores anuais da evapotranspiração total e precipitação histórica, seguidas de seus percentuais totais, em relação à bacia hidrográfica, as vazões do trimestre seco e chuvoso, além de seus divisores superficiais de águas.

### Características da Bacia Hidrográfica do rio Uruçui Preto



**Figura 4.** Divisores superficial de água, situação geográfica; evapotranspiração anual, precipitação anual, vazões dos trimestres mais chuvosos e secos, área da bacia; declividade média; extensão; cota, solos e vegetação, para a área da BHRUP.

Vegetação: Típica das savanas formada de estrato descontínuo por arbustivos e arbóreos caracterizados por troncos tortuosos, casca espessa, folhas coriáceas e dossel assimétrico. As espécies frequentes são o barbatimão, o pau terra da folha larga e a simbaíba. O solo é recoberto por estrato gramíneos de capim agreste. O cerrado desenvolve de forma mais fechada por espécies de maior porte, entre elas o pau d'arco e Gonçalo Alves.

A ocorrência de aquíferos na bacia é representada pelos sedimentos clásticos, médios a grosseiros, às vezes conglomeráticos, que constituem os aquíferos Serra Grande e Cabeças, e o Poti/Piauí, já as formações Pimenteiras e Longá, constituídas por sedimentos clásticos finos ou pelíticos, se caracterizam mais como confinantes das formações mais arenosas subjacentes.

A BHRUP e seu entorno abrange, em sua totalidade, vinte e cinco municípios e vinte e quatro fazendas, conforme a Tabela 1, que contêm as localizações dos postos pluviométricos e dos municípios que alocados aos referidos postos, seguidamente de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais.

**Tabela 1.** Localização dos postos pluviométricos e dos municípios que estão alocados aos referidos postos, seguidamente de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais.

Ordem	Posto	Município	Latitude ° , '	Longitude ° , '	Altitude metros
1	Alvorada Gurgueia	Alvorada Gurgueia	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 Gurgueia	Colônia do Gurgueia	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 Jappeganga	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	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	Julio Borges	Julio 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 Gurgueia	Redenção Gurgueia	09 30	44 36	365,0
44	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0
45	São Gonçalo do Gurgueia	São Gonçalo do Gurgueia	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

## **3.2. DADOS**

### **3.2.1. PRECIPITAÇÃO**

O estudo do comportamento temporal espacial da pluviosidade utilizou-se de dados diários e mensais, foram adquiridos através da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATERPI) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a análise do comportamento climático entre o período de 1960-1990. A BHRUP é formada por 49 locais distribuídos entre 25 municípios e 24 fazendas na área e no seu entorno.

Para as plotagens dos dados e elaboração dos gráficos e tabelas utilizou-se do software em planilhas eletrônicas. E se utilizaram os dados observados nos horários sinóticos e ainda se aplicaram algumas estatísticas como média, desvio padrão, cálculo dos valores máximos e mínimos absolutos e coeficiente de variância, com a finalidade de se obter resultados.

A precipitação pluvial passa a ser a única fonte de suprimento de água; razão pela qual escoar superficialmente a água é barrada em pequenos açudes e usada para o abastecimento. Além de que, muitas vezes, uma pequena fração é captada e armazenada em cisternas para fins potáveis. No entanto, este elemento climático é extremamente variável, tanto em magnitude quanto em distribuição espaço-temporal para qualquer região e, em especial, no NEB, Almeida e Silva, (2004); Almeida e Pereira (2007).

No caso do semiárido nordestino, os padrões mensais e interanuais da distribuição de chuvas são extremamente irregulares. Na maioria dos anos predominância de chuvas em curto período de dois a três meses e em outros os índices mais elevados podem persistir por até nove meses ou chover torrencialmente num local e quase nada na sua circunvizinhança de acordo com os autores Silva et al., (2005); Almeida e Pereira (2007); Almeida e Oliveira (2009). Assim, o maior problema não é só a quantidade de chuvas, mas também a irregularidade na distribuição espaço-temporal (Urbano e Duque, 2007).

A medida da precipitação possibilita quantificar o volume de água disponível em determinado local, mas não permite determinar a intensidade da chuva e/ou o instante em que ela ocorreu.

O estado do Piauí tem três (03) regimes de chuvas bem caracterizados, conforme a Figura 1; nesta figura podem-se observar os fatores provocadores de chuvas nos regimes acima especificados.

O sistema de coleta de dados pluviométricos está centrado em microrregiões administrativas da EMATERPI que, em sua totalidade, abrange quinze (15) microrregiões e totaliza 60 municípios assim especificados para a área de estudo:

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferentes regimes de precipitação; conseqüentemente se encontra grande variabilidade de climas com distintas características regionais (Santos 2006).

Em Santos (2006) a análise dos extremos climáticos desperta um grande interesse, haja visto causar enormes perdas e transtornos econômicos. Os extremos climáticos podem ser definidos pela ocorrência de valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam certo nível, correspondendo a uma pequena probabilidade.

Segundo Santos (2010) é de grande importância a elaboração de índices de tendência de mudanças climáticas de uma região, pois funciona como ferramenta necessária para a compreensão do fenômeno das mudanças climáticas globais. A autora afirma que tais índices são um registro observacional razoavelmente longo e de qualidade.

Tavares et. al., (2011), analisaram a relação entre o número de dias de chuva (dcc) e a precipitação no município de Teresina – PI para gerar informações que possam servir de indicativo para uma utilização mais adequada da água da chuva. Os dados foram obtidos na Estação Pluviométrica Convencional de Teresina - PI no período de 1913 a 2005; as correlações entre os números de dias de chuva e a precipitação, foram verificadas pelo teste F, a nível de 5%. Os dados médios apresentaram precipitação anual igual a 1.337,8 mm ocorrida em 80 dias; os meses que apresentaram os maiores valores totais de precipitação foram fevereiro, março e abril, cujo total pluviométrico foi 860,5 mm distribuídos em apenas 46 dias ao longo dos três meses; já o trimestre agosto, setembro e outubro são os menos chuvosos, com 60,6 mm em 12 dias. Nos anos de precipitação abaixo da média, constatou-se melhor distribuição temporal das chuvas, ao contrário de quando choveu acima da média, em que a precipitação foi mais concentrada no tempo. Houve tendência significativa de incremento na precipitação e no número de dias com chuva no 1º trimestre do ano enquanto no 2º e 4º trimestres, esta tendência é inversa, ou seja, de redução, tanto da precipitação como do número de dias de chuva, quando se considera o período de 1913 a 2005, em Teresina – PI.

Inúmeros estudos vêm projetando o aumento da intensidade de precipitação para o fim do século, no Sul do Brasil, através de modelos globais, como Torres e Marengo (2012), 0% a 15% e Tebaldi et. al., (2006) 0,25 a 1 (mm dia<sup>-1</sup> chuvoso). Igualmente, muitos autores observaram que os modelos globais subestimam a precipitação no estado do Paraná, como relatado por Solman et

al., (2007); Torres e Marengo (2012); Solman et al., (2007) ainda afirmam que os modelos globais têm resoluções insuficientes para descrever os padrões de chuva em escala regional.

Machado et al., (2013) analisaram o comportamento da precipitação no estado do Paraná, através de métodos estatísticos para eventos extremos e ferramentas de SIG. e identificaram regiões mais vulneráveis a precipitações intensas, como o sudoeste do estado, que apresentou chuvas intensas, recorrência de extremos anuais e tendência de aumento de extremos.

Souza et. al., (2012) caracterizavam, em seus estudos, os índices de extremos climáticos de precipitação na Bacia do Rio Sirinhaém localizada em Pernambuco. Utilizando dados diários de precipitação de oito postos pluviométricos consistentes, no período de 01 de janeiro de 1963 a 31 de julho de 2011, obtiveram como resultado, mudanças no padrão das precipitações observadas sobre a bacia com tendência de redução da precipitação total anual e aumento da precipitação máxima em um dia, revelando que cada vez mais as chuvas intensas se concentram em um dia, com veranicos prolongados e má distribuição temporal da intensidade da precipitação diária dentro de um mês.

A incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares, chuvosos e médios) a estudos 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 às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsões climatológicas em uso no Brasil conforme Varejão-Silva e Barros (2001).

As prováveis mudanças climáticas poderão acarretar impactos significativos nos setores natural, social e econômico, e os extremos do clima associados à temperatura e precipitação também poderão afetar o consumo de energia, conforto humano e turismo (Santos et al., 2009). Kostopoulo et al. (2005) afirmam que o aumento nas perdas econômicas devido a extremos de tempo e, especialmente, o aumento nas perdas de vida, têm sido manchetes de jornais, despertando o interesse da comunidade científica em estudar os fenômenos climáticos.

O monitoramento do regime pluviométrico da região tem mostrado nos últimos anos 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).

A região Sul do Estado do Piauí é composta das seguintes microrregiões administrativas: Floriano, Uruçui, Canto do Buriti, São Raimundo Nonato, Bom Jesus e Corrente, no total de 60 municípios têm, como principais fatores provocadores de chuvas: Vestígios e/ou resto de frentes frias, quando da sua penetração mais ativa com acoplamento da linha de instabilidade, causadas pela formação dos VCAS; aglomerados convectivos troca de calor, orografia, contribuição da

convecção da Amazônia. Nesta área as chuvas se inicializam em outubro, com chuvas de pré-estação caracterizando-se nos meses de novembro em que dezembro, janeiro e fevereiro se tem o trimestre mais chuvoso, concentrando 68% das chuvas do ano.

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 origem dessas modificações ainda é mal conhecida e, conseqüentemente, sua previsão e sua amplitude em longo prazo são ainda difíceis de avaliar.

Medeiros, et al., (2011), Mostraram o comportamento dos elementos meteorológicos do município de Gilbués – PI; foram estudados os elementos temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, vento, radiação solar e precipitação pluvial, para o período horário em UTC de 16 de maio de 2009 a novembro de 2010. Os resultados indicam que a temperatura média flui entre 24,6 °C a 29,8 °C, a temperatura máxima oscila entre 25,2 °C a 30,7 °C e a mínima entre 23,8 °C a 28,9 °C. As flutuações das temperaturas do ponto de orvalho máxima, mínima e média, oscilam de 7,5 °C a 21,9 °C; e de 9,0 °C a 20,8 °C e com variação de 8,2 °C a 20,6 °C, respectivamente. A umidade relativa do ar média é de 32,7% a 76,1%, a variabilidade máxima é entre 28,5% a 79,6% e a mínima é de 32,7% a 76,1% enquanto a precipitação média anual é de 899,3 mm. Nota-se que a pressão atmosférica máxima flutua entre 961,3 hPa a 966,2 hPa; enquanto a pressão atmosférica mínima oscila entre 961,1 hPa a 965,7 hPa e se tem uma média de pressão atmosférica fluindo entre 961,4 hPa a 965,9 hPa; a radiação solar oscila entre 826,4 KJm<sup>-2</sup>a 1090,3 KJm<sup>-2</sup>com média de 959,0 KJm<sup>-2</sup>.

Medeiros, et al., (2012), se utilizaram da série de precipitação pluvial do município de Floriano, PI, referente ao período de 1912 a 2010, cujos dados foram agrupados utilizando-se a distribuição de frequência, e se determinando em seguida, as medidas de tendência central, dispersão e histogramas, com distribuição de frequência em dez intervalos de classes: 0-399, 400-499, 600-799, 800-999, 1000-1199, 1200-1399, 1400-1599, 1600-1799, 1800-1999 e maior que 2.000 mm através das quais foram determinadas as frequências de ocorrência do número de

anos em cada uma dessas classes, em cinco períodos distintos: 1912/1931; 1932/1951; 1952/1971; 1972/1991 e 1992/2010, em ciclos ordenados cronologicamente de 20 em 20 anos, sendo o último de dezenove anos, em intervalos de classes regulares de 100 mm. Os resultados preliminares mostraram que se tem na série de precipitação estudada trinta e sete anos com chuvas abaixo da média, quinze anos com chuva entre a normalidade e quarenta e sete anos com chuvas acima da média histórica. Os autores demonstraram, portanto, que não houve indícios de diminuição de chuva nesta localidade embora houvesse elevada variabilidade espacial e temporal na quantidade de chuva observada de um ano para outro, e mesmo assim, podendo ser armazenados os índices pluviométricos, mesmo que o ano seja abaixo da média climatológica da região.

Dentre os elementos climáticos a precipitação exerce papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas produzindo resultados na economia, Sleiman, 2008.

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).

### **3.2.2. TEMPERATURA DO AR**

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 (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 (Medeiros, 2013).

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:

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

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 & 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.

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).

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

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

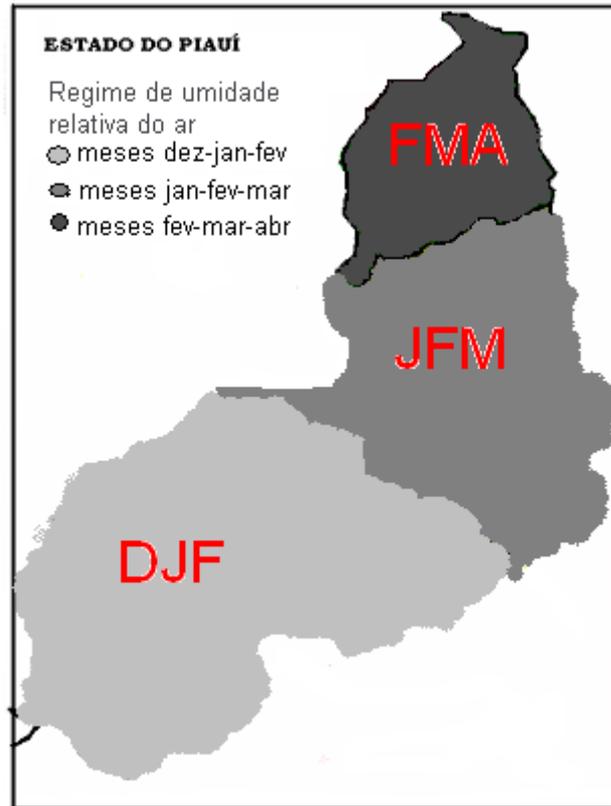
$$T_{ij} = T_i + AAT_{ij} \quad i = 1,2,3,\dots,12 \quad j = 1950,1951,1952,\dots, 2010$$

Após os cálculos das estimativas das temperaturas máximas, mínimas e médias entre o período de 1950 a 2013, 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.

### 3.2.3. UMIDADE RELATIVA DO AR

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 se interpolara 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, Figura 5.



**Figura 5.** Regime de umidade relativa do ar do trimestre mais úmido para o estado do Piauí. Fonte: Autor.

Os dados de umidade relativa do ar foram estimados a partir das estações meteorológicas convencionais do INMET dos municípios circunvizinhos, compreendendo o período de 1960 a 1990 para a região de estudo. Deste modo, foram gerados três regimes úmidos bem definidos dentro do estado e em especial para a área em estudo.

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%, em conformidade com os autores Sentelhas et al., (2008); Huber e Gillespie, (1992). Sentelhas et al., (2008) observara, ao estudar modelos empíricos utilizados para estimar o período de molhamento foliar em 4 regiões da superfície terrestre com diferentes condições climáticas, 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 em condições de laboratório.

#### **3.2.4. NEBULOSIDADE**

A cobertura de nuvem foi estimada a partir das imagens de satélite; realizaram-se, também, interpolações para verificação da referida estimativa e realização do teste de correlação entre os valores estimados e os valores das normais climatológicas do INMET, (2009).

### 3.2.5. VENTO: DIREÇÃO E VELOCIDADE

O aspecto mais importante da ação do vento se restringe, no presente caso, junto à superfície do solo.

A atmosfera sobre qualquer grande área do globo e especialmente nas latitudes médias é caracterizada pelo bem definido sistema dinâmico, no qual o movimento do ar é grandemente determinado pelo gradiente horizontal de pressão e temperatura.

Na camada superficial, que se estende até aproximadamente 100 metros acima da superfície do solo, os efeitos da rotação da terra (força de Coriolis), podem ser desprezados em relação aos efeitos causados pela própria superfície do solo. Nesta região, o vento deriva diretamente do gradiente de pressão de larga escala. Em certas circunstâncias, o movimento na camada superficial é determinado primeiramente pelos efeitos da densidade local, enquanto as circulações globais consistem do transporte de massas de ar pelo operador matemático da advecção do vento. Ventos globais estão mais associados às correntes de jato e circulação de Hadley-Walker dentre outras. A movimentação de ar local está envolvida pelos ventos vale-montanha e pelos ventos anabáticos e catabáticos; o último está mais relacionado com a topografia da região e sua vegetação, tal como seus múltiplos usos, além da distribuição e absorção diferenciadas da radiação solar que incide sobre a superfície, Santos et al., (2004).

Envolvendo a camada inicial e se estendendo para aproximadamente um quilômetro acima da superfície do solo, estão a camada de ficção ou a camada limite planetária, a zona de transição entre o perturbado fluxo da superfície do solo para o fluxo levemente friccionado da atmosfera livre. O problema de estrutura do vento nesta camada envolve não apenas o gradiente de pressão e a força de Coriolis, mas também o efeito de fricção residual da superfície da terra.

O curso diário da velocidade do vento junto do solo apresenta efeito marcante do balanço de radiação da superfície. Diferenças no balanço de radiação, definidas por alteração de albedo, repartição desigual da energia em aquecimento do ar, e do solo e evaporação, criam gradiente de pressão atmosférica que geram esses ventos.

A intensidade do vento foi calculada através da escala Beaufort em  $\text{ms}^{-1}$  (Tabela 2), cujos técnicos do EMATERPI municipais colaboram nesta estimativa salienta-se que não foram computadas as rajadas de vento, apesar de serem bastante frequentes durante o tempo.

**Tabela 2.** Determinação da velocidade do vento utilizando a escala “beaufort”

VELOCIDADE		DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
m/seg.	km/h		
0,0 – 0,5	0,0 - 1,0	Calmaria	Não se percebe movimento do ar. A fumaça se eleva verticalmente.
0,6 – 1,7	2,0 - 6,0	Corrente débil	A fumaça se eleva com pequeno desvio da vertical. A grimpada do catavento pouco se move.
1,8 – 3,3	7,0 - 12,0	Brisa suave	Percebe-se o ar nas faces. As folhas das árvores se movem ligeiramente.
3,4 – 5,2	13,0 - 18,0	Vento fraco	As folhas das árvores se movem constantemente e as bandeiras se estendem.
5,3 – 7,4	19,0 - 26,0	Vento moderado	Se movem os pequenos ramos das árvores. Levantam-se a poeira e o pedaço de papel.
7,5 – 9,8	27,0 - 35,0	Vento fresco	Movem-se os arbustos e os galhos das árvores.
9,9 – 12,4	36,0 - 44,0	Vento muito fresco	Movem-se os galhos maiores das árvores. Ouve-se o assobio do vento. Os guarda-chuvas são usados com dificuldade.
12,5 - 15,2	45,0 - 54,0	Vento forte	Balançam-se os troncos das pequenas árvores.
15,3 - 18,2	55,0 - 65,0	Vento muito forte	Rompem-se pequenos ramos das árvores. Torna-se difícil caminhar contra o vento.
18,3 - 21,5	66,0 - 77,0	Ventania	Deslocam-se os objetos relativamente pesados como telhas. Rompem-se galhos de árvores.
21,6 - 25,1	79,0 - 90,0	Vendaval	Árvores são derrubadas e casas destelhadas. Ocorrem raramente no interior dos continentes.
25,2 - 29,0	91,0 - 104,0	Tempestade	Árvores são arrancadas completamente, trazendo graves destruições. São muito raras no interior dos continentes.
29,1	104,1	Furação	As construções são arrasadas, com efeitos devastadores. São repentinos e raras vezes observados no Brasil.

O vento é um dos mais importantes e mais complexos elementos do clima e pode influenciar vários fenômenos como erosão do solo, dispersão de poluentes, transporte de sementes e geração da energia eólica, Kantelhardt (2002). Na meteorologia, a velocidade e a direção do vento, juntamente com a temperatura, a umidade e a pressão do ar atmosférico, são as variáveis mais relevantes empregadas na descrição meteorológica da atmosfera terrestre, Martins et al., (2008).

O vento afeta a uniformidade de distribuição de água e em regiões de baixa umidade relativa do ar e de temperaturas altas, a perda de água por evaporação pode atingir altos valores, favorecendo a incidência de doenças nas plantas conforme Silveira et al. (2004).

A direção dos ventos é uma das características cujo estudo é de fundamental importância, seja vista que dela se podem determinar locais de instalação de distritos industriais, quebra-ventos, estábulos e torres de captação de energia (Da Silva et al., 1997). Do ponto de vista agrônomo, a direção dos ventos pode atuar no posicionamento de culturas nas lavouras e está também diretamente ligada ao fenômeno de polinização (Munhoz; Garcia, 2008).

Nesta época, (dezembro-fevereiro) a região em estudo sofre com as constantes penetrações de frentes frias vindas do Sul do continente americano. Essas frentes frias alteram os

campos de pressões atmosféricas, podendo influenciar diretamente na direção e na velocidade do vento (Rodrigues et al., 2004).

Vários trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta pelo aspersor, além da diminuição da sobreposição dos jatos de água, conforme Gomide et al., (1980); Ribeiro, (1983); Vories; Bernuth, (1986); Paz, (1990); Martim-Benito et al., (1992) e Alves Castro (1995).

Estudos aplicados à região do NEB, onde se analisaram as características eólicas regionais e um possível potencial para a implementação de torres de captação de energia, ressaltam que esta distribuição representou adequadamente os dados em análise (Da Silva et al., 2002; 2004).

Quanto à compreensão de efeitos, o vento é um elemento meteorológico de grande importância, apesar da inexistência de uma rede observacional adequada. Os dados horários de ventos, existentes na Região Nordeste, não ultrapassam dez anos e correspondem a um pequeno número de estações, devido à qual esta Região possui poucas pesquisas realizadas, segundo Nóbrega et al., (2011).

Silva et al., (2002) utilizaram como objetivo de determinar o potencial eólico média horária da direção predominante do vento, dados horários de velocidade e da direção dos ventos coletados a 10 metros em 77 estações climatológicas do INMET no período de 1977 a 1981 foi identificada a direção predominante do vento e estimados os parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull, utilizados para o cálculo do potencial eólico médio diário predominância do vento no NEB é de E, com flutuações de SE-NE.

Silva (2008), afirma que a influência dos ventos moderados e contínuos exerce efeitos diretos e indiretos na vegetação, como deformações e modificações, forma de crescimento, quebra de galhos e de plantas inteiras. Com relação aos efeitos indiretos, o autor relata modificações no balanço hídrico das plantas, diminuição da umidade, erodibilidade e outras propriedades dos solos; na maioria das espécies de plantas sua intensidade aumenta a transpiração, modificando o comportamento estomático e a redução da taxa fotossintética, implicando diretamente na redução dos cultivos.

A análise do comportamento dos ventos é, sem dúvida, uma das principais ferramentas que norteiam o planejamento e a direção predominante do vento pode definir a provável direção e propagação de determinado foco de queimada (Melo, 2001).

A caracterização do vento requer em qualquer ponto da atmosfera dois parâmetros: velocidade e direção, que são grandezas instantâneas visto que dependem de condições

atmosféricas como o gradiente de pressão, originárias de deslocamentos de massas de ar com diferentes temperaturas. A incidência e a absorção dos raios solares constituem a principal causa do efeito de pressões diferentes (Pereira, 2002).

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 e da época do ano em conformidade com Vendramini (1986).

A direção predominante do vento seguiu os critérios da rosa do vento e, levando em consideração o relevo, as cadeias de vales e montanhas e área de reflorestamento.

Na estimativa da direção do vento foi observado e tomado como base o relevo, principalmente nos limites interestaduais, e nos municípios em que suas cotas altimétricas são elevadas, tal como também os locais que têm depressões bruscas. Nesses locais as direções do vento podem ser relativamente desviadas da sua direção padrão, devido aos referidos obstáculos.

O vento é o principal forçante de alguns processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na camada superior dos oceanos, como as correntes superficiais e os processos de interação oceano-atmosfera (Du 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.

Verificou-se, para o Nordeste do Brasil, que as correntes de ar variam de Norte a Sul, entretanto, se observa ao longo do ano, que a direção predominante dos ventos na região é a Leste, seguida da Sudeste e em menor frequência, a Nordeste (Da Silva et al., 2002; 2004).

Maciel et al., (2010), realizaram análise das direções predominantes do vento mensais para a estação meteorológica de Teresina – Piauí, localizada no bairro Buenos Ayres e de coordenadas geográficas (latitude 05°05'S, longitude 42°48'W e altitude de 72 metros). A direção predominante do vento foi descrita a partir da frequência de ocorrência do vento em determinada direção; essa mesma metodologia foi empregada por Galvani et al., (1999). A série de dados compreende os anos de janeiro de 1978 a maio de 2009; no ano de 2004 não foram observadas as direções do vento. Em trinta anos de observação as direções predominantes com maiores valores de frequências de entrada foram: Sudeste com 269,6 vezes; a direção de Este (E) com 179,5 vezes e a direção Nordeste, com 113,7 vezes; em relação às outras direções, ocorre com menor intensidade quando comparada com as citadas.

Leite e Filho (2006) observaram em estudo realizado para avaliar a velocidade média e direção predominante em Ponta Grossa – Paraná, o comportamento da distribuição de frequência da velocidade do vento utilizando as distribuições de probabilidade de Weibull, Rayleigh e Beta. Para a determinação dos valores de k e c foi empregado a mesma distribuição por Justus et al.,

(1978), que afirmam ser possível determinar os valores de  $k$  e  $c$  a partir da equação transformada, representada por uma equação da reta, ficando condicionada ao cálculo dos coeficientes “a” e “b” da reta de regressão. Quando aplicado aos dados de velocidade média do vento, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância 5% mostrou ser a distribuição Beta adequadamente ajustada à série histórica analisada. Nos modelos de Weibull e Rayleigh pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a hipótese de nulidade foi rejeitada, concluindo-se que a distribuição Beta apresenta os melhores ajustes para todos os meses do ano sendo a mais adequada para o estudo na localidade de Ponta Grossa - Paraná.

Medeiros et. al., (2014) realizaram a delimitação da umidade relativa do ar (UR) para a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto, composta por 25 municípios e 24 fazendas. Deste modo, utilizou-se de dados de umidade relativa do ar observados e interpolados das estações que operam na área em estudo; foram obtidos, para os 49 locais da bacia, as médias mensais, anuais, máximos e mínimos valores. Observando a variabilidade da umidade relativa do ar para a área da bacia ao longo do ano, foi possível delimitar o trimestre mais úmido e seus valores mensais e anuais, tal como os valores máximos e mínimos absolutos observados. Os resultados mostram que o período úmido transforma as áreas com possibilidades de focos de queimadas e incêndios em áreas verdes e benéficas a produção de pastagens e grão. Tais delimitações dos trimestres mais úmidos e as informações das épocas de menores umidades relativas do ar serviram de alerta às autoridades federais, estaduais e municipais além dos tomadores de decisões, para um planejamento melhor.

Medeiros et. al., (2014) ressaltaram que o conhecimento do balanço hídrico é de suma importância no gerenciamento de recursos hídricos. O estudo tende a avaliar o balanço hídrico na BHRUP; 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 volumes significativos 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 é utilizado na transpiração, especialmente na vegetação e evaporação da água na BHRUP. Os anos com maiores índices pluviométricos e descarga líquida, foram os anos sobre influência do fenômeno La Niña.

Medeiros et. al., (2014) Verificaram que o Índice de Anomalia de Chuva pode ser utilizado como ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, caso em que a BHRUP, além de ser utilizada para regionalização, podendo também, através desse

monitoramento, gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local. As chuvas nesta área se iniciam no mês de outubro, com chuva de pré-estação e se prolonga até o mês de abril tendo, como trimestre mais chuvoso, os meses de janeiro, fevereiro e março e os meses mais secos oscilam de julho a setembro, com variabilidade pluviométrica oscilando entre 0,0 a 11,9 mm, sendo esses índices pluviométricos insignificantes para o runoff e a agricultura. A partir dos critérios de classificações tomados com bases nos desvios percentuais classificaram-se os meses e anos dos locais que compõem a bacia hidrográfica, obtendo-se oscilações de extremamente chuvoso a extremamente seco.

Segundo Medeiros et al., (2014) dentre os elementos meteorológicos que interferem nas diferentes atividades humanas, a direção e a velocidade do vento certamente são os menos estudadas até o momento. Por esta metodologia analisaram-se as direções predominantes do vento mensais sobre a BHRUP e se representaram as direções predominantes do vento para a bacia e as referidas contribuições predominantes para os períodos chuvoso e seco. Realizou-se um contador para calcular a frequência de entrada do vento predominante para a área estudada. As direções predominantes com maiores frequências de entrada foram: nordeste-sudeste, com 19,0 vezes; leste-sudeste, com 13,0 vezes e nordeste, com cinco vezes, no entorno da bacia.

Medeiros, et al., (2011), analisaram a 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, 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 e as direções SE e NO com: 463 e 442, 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.

Quanto mais próximo for o local de exposição aos focos de queimadas, geralmente maior será seu efeito à saúde, mas a direção e a intensidade das correntes aéreas exercem muita influência sobre a dispersão dos poluentes atmosféricos e sobre as áreas afetadas pela pluma oriunda do fogo. Se os ventos predominantes se dirigirem para áreas densamente povoadas, um número maior de pessoas estará sujeito aos efeitos dos contaminantes; este é o caso do Sudeste Asiático, cujas queimadas provocam névoa de poluentes de extensão regional com impactos à

saúde de centenas de milhões de pessoas, segundo Ribeiro e Assunção (2002). Esses autores explicam também que a variação sazonal de direção dos ventos alísios (de escala planetária) causa mudança na região de convergência com a brisa, determinando a ocorrência de precipitação sobre o continente ou sobre o mar.

A análise do comportamento dos ventos representa uma das principais ferramentas no processo de gestão. O vento é uma das variáveis meteorológica mais significativa e menos estudada, sendo que no caso da agricultura é conhecida sua influência na aplicação de defensivos e em estudos voltados à propagação de doenças, polinização e práticas com quebra-vento (Munhoz; Garcia, 2008). Os autores salientam que, do ponto de vista agrônomo a direção dos ventos pode atuar no posicionamento de culturas nas lavouras e está também diretamente ligada ao fenômeno de polinização.

### **3.2.6. EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

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 & 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. 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).

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 15° 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 3.

**Tabela 3.** 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:  $ETr = P$  (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.

Em cada posto pluviométrico que compõe a BHRUP, foi a evapotranspiração real, calculada através do balanço hídrico simplificado:  $ETr = P$  (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.

### **3.2.7. INSOLAÇÃO TOTAL**

Os valores de insolação foram estimados a partir do Atlas de irradiação solar do Brasil elaborado, pelo INMET (1998), levando-se em consideração o banco de figuras climatológicas do referido órgão e sua complementação, utilizando regressões com os devidos cuidados de checar os valores com a climatologia.

Carvalho et al. (2002) propuseram uma metodologia para caracterizar, objetivamente, as propriedades estruturais da ZCAS. Os autores consideraram que regiões com  $ROL \leq 200 \text{ Wm}^{-2}$  estão bem relacionadas com os padrões espaciais de precipitação e também consideraram que a ZCAS é genericamente descrita como região com alta variabilidade da atividade convectiva, durante o verão.

O regime pluviométrico influencia, de maneira inversa, o número de horas de insolação. É o que se verifica durante os meses de janeiro a abril, em que, devido à maior intensidade de chuvas e conseqüentemente, maior nebulosidade, se registram os menores valores de insolação, em virtude da redução das chuvas, o valor médio de insolação foi elevado para 9,3h (Bastos et al., 2008).

Estudos relativos à disponibilidade de totais diários médios mensais da irradiação solar global são importantes no planejamento agrícola, uma vez que esta variável é fundamental para a determinação do saldo de radiação, e, para a estimativa da evapotranspiração de uma determinada cultura, Souza et al., (2005). De forma complementar, Silva et al., (1999) afirmam que a radiação solar e a temperatura são os dois principais fatores que influenciam na perda de água do solo.

Silva et al., (2010) aplicaram o teste de Mann-Kendall em séries temporais do saldo de radiação no Nordeste do Brasil e concluíram que as mesmas exibiram reduções acentuadas entre 1948 e 1987; entretanto, no período de 1988 a 2006, comportamento inverso sugerindo a presença do fenômeno “Global dimming” sobre a região Nordeste do Brasil.

Silva et al., (2010) observam que as altas incidências de raios solares, com conseqüentes altas de temperaturas, aumentam os índices de evapotranspiração, variabilidade climática, assim como os períodos de seca, a intensidade das chuvas, a erodibilidade dos solos, o escoamento superficial e a derivação antropogênica, como o desmatamento indiscriminado, as queimadas e o pastoreio da ovinocaprinocultura acima da capacidade de suporte do ambiente, foram os fatores que aceleraram e agravaram o processo de desertificação na região do município de Cabaceiras.

Os ambientes tropicais se caracterizam pela elevada incidência de radiação solar, insolação e temperatura. Quanto mais próximo do equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (Bayer, 2004; Bley Jr., 1999).

A radiação solar incidente sobre a superfície do solo é fator determinante e condiciona os processos que ocorrem neste ambiente, interferindo sobremaneira no ciclo dos nutrientes. Nestes termos, variando a quantidade de radiação solar incidente, podem-se obter condições ambientais diferenciadas e, por conseguinte, promover alteração nos demais processos (Araújo, 2005; Silva et al., 1999).

Os efeitos diretos que a incidência diferenciada da radiação solar ocasiona na superfície do solo podem ser constatados através da determinação da temperatura e sua umidade; a intensidade da radiação solar define as condições microclimatológicas, a temperatura sendo diretamente proporcional à radiação solar, enquanto a umidade se relaciona inversamente, Silva et al. (1999).

Os solos presentes nas regiões tropicais são regra geral, altamente intemperizados e têm suas condições químicas, físicas e biológicas altamente dependentes da matéria orgânica, o que determina uma grande resposta desses solos aos sistemas de manejo que promovem variação positiva nos estoques de Carbono orgânico do solo, Bayer (2004). Quando os solos ficam expostos a uma intensa radiação solar e altas temperaturas, ocorre oxidação de sua matéria orgânica, Shaxson (1988).

Conforme Bley JR. (1999) menciona que para produzir em solos tropicais é necessário aprofundar o conhecimento sobre os fatores característicos dessas regiões, como os efeitos do Sol, em que a ciência desenvolvida em regiões de clima temperado e frio, não os considera ou os trata apenas como coadjuvantes das erosões hídrica e eólica.

### **3.3. MODELO HIDROLÓGICO IPH2**

Modelos hidrológicos representam ferramentas poderosas em análises científicas que, se usadas adequadamente, permitem entender e representar melhor o comportamento da Bacia Hidrográfica. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos que se diferenciam em função dos dados utilizados, das discretização das propriedades de representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados.

As limitações básicas dos modelos hidrológicos são a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos disponíveis, além da dificuldade de formular, matematicamente, alguns processos, e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos.

Souza et al., (2010) aplicaram o modelo IPHS1 na Bacia Hidrográfica do rio Araguari a fim de simular a variação da vazão com a precipitação com o intuito de verificar provável impacto ambiental na vazão de saída com 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, porém com pequenas discrepâncias entre valores dos fluviogramas observados e os simulados na bacia, os quais foram decorrentes da ausência de dados em algumas localidades na bacia hidrográfica, o que dificultou a análise preditiva mais precisa sobre o comportamento hidráulico.

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados. Eslamian e Biabanak, (2008); Rao e Srinivas, (2006); Samuel et al., (2011) definida por Fill (1987) como processo de transferência de informações de um local para outro. A referida técnica relaciona os processos hidrológicos com características físicas e climáticas de uma bacia.

O método da regressão múltipla é uma forma de determinar a magnitude das vazões para um período de retorno e para a transferência de dados de vazão de locais em que há medição para outros, com pequena ou nenhuma disponibilidade de informações, Malekinezhad et al., (2011).

Os modelos chuva-vazão permitem simular a parte do processo do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, sendo possível completar períodos desconhecidos de vazão e cota, além de estimá-las para diferentes cenários de bacias hidrográficas e prever a ocorrência de cheias ou outros eventos extremos. Dentre os modelos de chuva-vazão há aqueles específicos que podem ser usados para tais fins, dependendo dos parâmetros/características da bacia, Germano et al., (1998).

As diferentes fases do processo de transformação de precipitação em vazão são modeladas por algoritmos matemáticos. Na literatura, há diferentes algoritmos compostos, os quais identificam modelos tais como HEC-1, SSARR, IPH2, STANFORD IV e HYMO entre outros, Viegas et al., (2004). Segundo Tucci (1993) a estrutura modular do modelo IPHS1 tem, como objetivo:

- a) melhorar a compreensão dos processos hidrológicos e dos algoritmos utilizados na simulação;
  - b) ensino de modelos matemáticos;
  - c) oferecer alternativas de escolha do melhor conjunto de algoritmos para uma bacia específica.
- O sistema de modulação pode ser obtido em versão WINDOWS para PC ou em versão

FORTRAN; no primeiro caso, a entrada de dados é disponibilizada em forma amigável mediante telas explicativas, programadas em DELPHI, permitindo integração fácil com o usuário. Os algoritmos de cálculo e a saída foram programados em FORTRAN devido à versatilidade para programação de algoritmos complicados de cálculo. Aos usuários principiantes recomenda-se o uso de interface WINDOWS e para programadores existe a possibilidade de acesso às rotinas fontes, que permitirão adaptar o sistema de modulação a requerimentos específicos.

Internamente, o sistema está modulado segundo operações hidrológicas, oferecendo as seguintes opções:

- a) transformação chuva-vazão;
- b) escoamento em rios;
- c) propagação em reservatórios;
- d) entrada, somas ou derivação de hidrogramas.

Para cada uma dessas opções são fornecidos as características físicas da bacia e os dados históricos. O modelo compõe os resultados, de acordo com a numeração sequencial informada pelo usuário; cada número identifica o hidrograma resultante no final da bacia ou trecho.

O sistema é formado por três componentes:

- a) leitura de dados e manejo de arquivos;
- b) modelos;
- c) impressão e graficação.

A primeira componente (Versão WINDOWS) permite gerar os arquivos de informações que contêm os parâmetros, dados hidrológicos e/ou características físicas da bacia de acordo com as necessidades do usuário. Para facilitar a entrada de dados à interface dispõe de bases de valores dos distintos parâmetros da metodologia de simulação, para distintas situações, podendo ser escolhido o parâmetro em função da informação contida na própria base de dados ou fornecida pelo usuário, conforme Tucci, (1993).

A segunda componente está dividida em dois módulos:

- a) módulo da bacia;
- b) módulo do rio.

Cada módulo é formado por submódulos que realizam operações hidrológicas específicas; por sua vez, cada submódulo apresenta, como opções, diferentes algoritmos de cálculo.

Escolheu-se, dentre os modelos da série, o IPH2, que é um modelo do tipo concentrado, aplicado para projetos de engenharia em bacias rurais e urbanas e é também o que mais se ajusta

às características da região de estudo. Além do mais, necessita de poucos parâmetros e se baseia em metodologias conhecidas.

O modelo tem, como base, um algoritmo de separação do escoamento desenvolvido por Berthelot (1970) apud Bravo et al., (2007), que utiliza equações de continuidade, combinada com a equação de Horton e uma função empírica para a percolação. Berthelot et al., (1972), Sanchez (1972) e Muñoz e Tucci (1974) apud Tucci (1998), obtiveram bons resultados ao aplicar o algoritmo em um modelo chuva-vazão nas bacias dos rios Capivari (SC), Cauca (Colômbia) e Chasqueiro (RS) respectivamente.

O modelo é composto dos seguintes algoritmos (Germano et al., 1998):

- a) Perdas por evaporação e interceptação;
- b) Separação dos escoamentos;
- c) Propagação do escoamento superficial;
- d) Propagação subterrânea;
- e) Otimização dos parâmetros (opcional).

Os parâmetros que compõem o modelo IPH2, são:

$I_o$  - capacidade de infiltração máxima do solo (mm);

$I_b$  - capacidade de infiltração mínima do solo (mm);

$H$  - parâmetro de decaimento da infiltração no solo (adimensional);

$R_{m\acute{a}x}$  - capacidade máxima do reservatório de interceptação (adimensional).

Uma análise da sensibilidade dos parâmetros foi feita por Tucci (1979) apud Tucci (1998), que constatou que  $I_o$ ,  $I_b$ , e  $H$  são os mais sensíveis no controle de volumes do hidrograma; os dois primeiros variam com o valor de  $H$  e o aumento dos três parâmetros produz redução do volume de escoamento superficial.

As expressões seguintes obtidas para bacias urbanas brasileiras, por Germano (1998) foram desenvolvidas para uso com o modelo IPH2 através das equações (1) e (2):

$$T_{(c)} \text{ (min)} = 18,628 \cdot \frac{L^{0,882}}{IMP^{0,272}}$$

$$K \text{ (min)} = 24,058 \cdot \frac{L^{1,063}}{S^{0,126} \cdot IMP^{0,549}}$$

Onde:

$L$  é o comprimento principal do rio, em Km;

$S$  é a declividade do rio principal em %;

$IMP$  é a área impermeável.

### 3.3.1. AJUSTE E CALIBRAÇÃO DO IPH2

Obtidos os valores de precipitação dos postos pluviométricos e as características das peculiaridades das sub-bacias, os parâmetros (Tabela 4) do modelo IPH2 foram estimados de tal forma que a vazão nos pontos de controle Uruçuí e Jerumenha se equiparasse com os valores observados. Os pontos localizados à montante do rio Uruçuí preto estão a 180 e 230 km de sua afluição, com o propósito de verificar influência de sistemas precipitantes neste ponto e, consequentemente, no leito do rio Uruçuí Preto.

**Tabela 4.** Parametrização do modelo de escoamento superficial IPH2.

Parâmetros	$I_0$ (mmh <sup>-1</sup> )	$I_b$ (mmh <sup>-1</sup> )	H	$R_{máx}$ (mm)	% da Área Impermeável	VBEIC* (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> Km <sup>-2</sup> )
Uruçuí	8	3	0,5	25	0,10	0,002
Jerumenha	11	5	0,5	28	0,10	0,02

\*vazão de base específica no início da chuva (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>Km<sup>-2</sup>)

A princípio, os dados utilizados na parametrização do modelo foram da literatura (Germano et al., 1998; Brun & Tucci, 2001; Tucci, 2005). Para tornar os dados próximos dos resultados observados foi necessário fazer uma calibração ou ajustes através de tentativas; a calibração dos valores usados para  $I_0$  variaram entre 6 a 15 mmh<sup>-1</sup>, para  $I_b$  foram utilizados valores entre 2 a 20 mmh<sup>-1</sup> modificados constantemente até a resposta almejada (resultados equiparados aos observados). Posto que o parâmetro de decaimento da infiltração no solo H é muito sensível, determinou-se um valor constante, baseado nos valores encontrados na literatura. Como este parâmetro é adimensional, o valor adotado foi 0,5; assim, foram trabalhados apenas os valores de infiltração  $I_0$  e de percolação  $I_b$ . Os valores de  $R_{máx}$  foram estimados entre  $1,4 < R_{máx} < 33$ ; a porcentagem da área impermeável variou 0,10 a 0,20%, pois em sua grande extensão do rio, a bacia está inserida em área praticamente rural. Por fim, a Vazão de Base Específica no Início da Chuva (VBEIC) que é a vazão estimada para o início da chuva, é inversamente proporcional à área da sub-bacia em km<sup>2</sup>. Os valores de VBEIC foram estimados na ordem de 0,002 a 0,02 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> para a BHRUP.

### 3.3.2. VERIFICAÇÃO DO MODELO

Demonstrar que os modelos demandados foram implantados corretamente e que os parâmetros estatísticos estejam de comum acordo entre os modelos.

### 3.3.3. DADOS OBSERVADOS

Os dados de vazões foram cedidos pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) agência Teresina – PI, distribuídas uniformemente sobre a bacia no período de 01/12/2004 a 02/02/2011; no total, foram utilizados 25 postos pluviométricos (municípios) distribuídos na BHRUP.

### 3.3.4. MODELOS MÉDIAS MÓVEIS

Nos modelos médias móveis  $\bar{Y}_t$  é considerado linearmente dependente de um número finito,  $q$ , de ruídos brancos, ou seja,  $\bar{Y}_t$  representa o modelo linear, porém com o somatório truncado em  $q$  termos. Representado por:

$$\bar{Y}_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Em que: os  $\theta_j$  são os coeficientes médias móveis, os  $\varepsilon_t$  o ruído branco e  $\bar{Y}_t$  é a vazão mensal do mês  $t$  representando o operador média móvel de ordem  $q$  por:

$$\Theta_q(B) = 1 - \sum_{j=1}^q \theta_j B^j$$

Podendo também ser expressa por:

$$\bar{Y}_t = \Theta_q(B) \varepsilon_t$$

Este modelo contém  $(q+2)$  parâmetros desconhecidos:  $\mu$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_2, \dots$ ,  $\phi_p$ ,  $\sigma^2 \varepsilon$ , sendo estimado pelo método semelhante ao do autor regressivo; não há justificativas estatísticas; todavia, para o uso de modelos com ordem  $q$  superior a 2, de acordo com Box e Jenkins (1970).

### 3.3.5. MÉTODO DO PREENCHIMENTO DE FALHAS

No processo de aquisição dos dados de precipitação, especialmente naqueles casos cujos equipamentos necessitam de operadores para efetuar as leituras, podem ser detectados erros grosseiros, tais como:

- a) quando ocorrem eventos de precipitação com grande magnitude, em que mais de uma proveta seja necessária para quantificar, pode-se confundir o número de vezes em que a proveta foi cheia, ocasionando erros;

- b) registro de dados em dias inexistentes (ex.: 30 de fevereiro);
- c) vazamento na torneira do pluviômetro; e
- d) caso em que o observador adoeceu ou foi para uma festa e em dias de feriados prolongados em que o observador não realizou a leitura e deixou acumular, fazendo uma média ponderada para os dias anteriores ou ainda, registrando a precipitação em um único dia.

Ressalta-se, então, que a ausência de precipitação também é um valor observado, devendo ser registrado e não pode ser confundido com uma falha.

Segundo Oliveira et al., (2010) a existência de falhas nas séries históricas se deve, basicamente, à ausência do observador, falha nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encarregados das observações; entretanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas carecem ser preenchidas, Bertoni e Tucci, (2007) e Streck et al., (2009).

Oliveira et al., (2010) constataram, ao analisar os desvios relativos médios entre os valores observados e os estimados pelas diferentes metodologias empregadas no preenchimento de falhas que para as séries avaliadas em ordem crescente os menores desvios relativos foram obtidos pelos seguintes métodos: regressão linear múltipla (RM), vetor regional combinado com a regressão potencial múltipla (VC/RP), ponderação regional (PR), vetor regional combinado com a regressão linear múltipla (VR/RM), vetor regional combinado com a regressão linear múltipla (VC/RS), regressão potencial múltipla (RP), ponderação regional com base em regressão lineares (RS), vetor regional, combinado com a ponderação regional (VR/PR) e vetor regional (VR).

Pelos resultados obtidos para as estações avaliadas, consta-se que algumas metodologias mais simples (regressão linear múltipla e ponderação regional) aprestaram melhor desempenho no preenchimento das falhas em relação aos métodos do vetor regional e ponderação regional com base em regressões lineares, Oliveira et al., (2010).

Caso ocorram problemas nos equipamentos ou por impedimento do observador que resultem em dias sem observação ou mesmo intervalo de tempos maiores, os dados falhos são preenchidos com os dados de três (3) postos vizinhos, localizados o mais próximo possível, da seguinte forma:

$$P_x = \frac{1}{3} \left( \frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Onde:

$P_x$  é o valor de chuva que se deseja determinar;

$N_x$  é a precipitação diária do posto  $x$ ;

$N_A$ ,  $N_B$  e  $N_C$  são, respectivamente, as precipitações diárias observadas dos postos vizinhos A, B e C;  $P_A$ ,  $P_B$  e  $P_C$  são, respectivamente, as precipitações observadas no instante em que o posto  $x$  falhou.

### **3.3.6. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN**

O clima de uma região resulta das diferentes combinações dos processos atmosféricos, os quais correspondem a um número muito grande de tipos de clima.

Regiões climáticas são aquelas cujos efeitos combinados dos fatores climáticos resultam em um conjunto de condições atmosféricas aproximadamente homogêneas. A fim de mapear as Regiões Climáticas, é necessário identificar e classificar cada tipo de clima:

A Classificação climática tem três objetivos:

- 1 - Organizar grande quantidade de informações;
- 2 - Rapidez de recuperar as informações;
- 3 - Facilidade de comunicação.

O objetivo de uma Classificação Climática, qualquer que seja, é definir, em termos de temperatura, umidade e suas distribuições estacionais os limites dos diferentes tipos climáticos que ocorrem na superfície do globo, em especial na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

A classificação climática de Köppen é baseada na quantidade, na distribuição de precipitação anual e na temperatura anual e mensal.

Os elementos temperatura e precipitação constituem um critério inicial para a divisão dos tipos de clima. O critério usado para o emprego da temperatura e da precipitação foi determinado pelos tipos de vegetação encontrados em determinadas áreas, os quais são intimamente ligados àqueles fatores.

### **3.3.7. CATEGORIA DE CLIMA**

São cinco as maiores categorias de climas, as quais foram enumeradas com as designações das letras maiúsculas: A, B, C, D, E.

Para o estudo específico de região tropical, ocupar-nos em com as categorias A, B, C, em que os tipos A e C são considerados úmidos e o tipo B, seco.

### 3.3.8. DIVISÃO ENTRE CLIMA ÚMIDO E SECO

A divisão inicial entre clima úmido e seco é feita através das seguintes fórmulas:

- a) Se a precipitação for uniforme em todos os meses, ou seja, se existe boa distribuição de precipitação em todo o ano, sem concentração no inverno ou verão, utiliza-se a fórmula:

$$r = 20 t + 140$$

Onde:

r - Valor teórico da precipitação anual (mm);

t - Temperatura média anual (°C).

- b) Se a concentração da precipitação ocorrer no verão, ou seja, 70% ou mais da precipitação anual nos meses de abril a setembro no HN e outubro a março no HS, utilizar-se-á a fórmula:

$$r = 20 t + 250$$

- c) Caso a concentração da precipitação ocorra no inverno, isto é, 70% ou mais da precipitação anual nos meses de outubro a março no HN e abril a setembro no HS, utiliza-se a fórmula:

$$r = 20 t$$

De posse desses valores, saber-se-á se o clima é úmido ou seco.

Prp - Precipitação média anual (mm), (70%);

Prp > r → clima úmido (A ou C);

Prp < r → clima seco (B)

De acordo com a comparação acima, tem, agora uma definição sobre o local, ou seja, se o clima é seco ou úmido.

A partir daí, o passo seguinte é definir qual o tipo de clima; alerte-se para as classificações:

A - Tropical úmido (Megatérmico) - temperatura média do mês mais frio acima de 18 °C;

B - Deserto ou estepe - sem limite de temperatura;

C - Temperado (Mesotérmico); temperatura média do mês mais frio entre -3 °C e 18 °C.

Neste tipo de clima, existe um subtipo, encontrado na região tropical (região montanhosa).

As letras D e E deixam de ser dadas por não serem climas da região tropical.

Normalmente as letras maiúsculas se referem à temperatura e as minúsculas à precipitação, com exceção do tipo B, em que as minúsculas se referem à temperatura.

### 3.3.9. CLIMA DO TIPO A – SUBCATEGORIAS

Af - Úmido. Clima de Selva Tropical. O mês seco tem precipitação média  $\geq 60$  mm

Am - Úmido. Clima de Bosque. Mês mais seco com a precipitação média inferior a 60 mm e a Precipitação total anual superior a 10 vezes este valor.

Aw - Úmido com inverno seco. Clima de Savana. Mês mais seco com precipitação média inferior a 60 mm e Precipitação total anual inferior a 10 vezes este valor.

Para facilitar a definição da subcategoria climática, utilizam-se os critérios abaixo:

1 - “Af” nunca tem precipitação inferior a 60 mm, ou seja, não tem estação seca.

2 - Para definição de “Am” e “Aw”, utiliza-se a seguinte análise:

$P > 10p$	Tipo Am
$P < 10P$	Tipo Aw

Onde:

p - precipitação média do mês mais seco (mm). Valor teórico;

P - precipitação total anual (mm).

### 3.3.10. CLIMA DO TIPO B - SUBCATEGORIAS

Bs - Seco ou semiárido. É a transição do clima mais úmido para os desérticos;

Bw - Deserto ou árido.

Foram utilizados os critérios abaixo, para definir as subcategorias:

1) Se a precipitação for uniformemente distribuída durante o ano, a fórmula será:

$P < t + 7$	Tipo Bw
$t + 7 > P > 2t + 14$	Tipo Bs

Onde:

t - temperatura média anual em °C;

P - precipitação total anual média (Cm).

2) Se 70% ou mais da precipitação ocorrem no Verão

$P < t + 14$	Tipo Bw
$t + 14 > P > 2t + 28$	Tipo Bs

Onde:

t - temperatura média anual em °C;

P - precipitação total anual média (Cm).

3) Se 70% ou mais da precipitação ocorrem no Inverno

$P < t$	Tipo Bw
$t > P > 2t$	Tipo Bs

Em que:

t - temperatura média anual em °C;

P - precipitação total anual média (Cm).

Cada uma dessas subcategorias é subordinada, conforme a temperatura, nos seguintes tipos:

k - frio - temperatura média anual inferior a 18 °C;

h - quente - temperatura média anual superior a 18 °C.

### 3.3.11. CLIMA DO TIPO C - SUBCATEGORIAS

Cw - Seco de inverno (Tropical de altitude). Chuvas são de Verão. Esta subcategoria representa um tipo climático que pode ocorrer nas regiões montanhosas.

A precipitação máxima de verão  $\geq 10p$  (precipitação do mês mais seco).

Cs - Seco de verão. Chuvas são de Inverno.

Precipitação máxima de inverno  $\geq 3p$  (precipitação do mês mais seco) com  $p < 30$  mm.

Obs: Se  $p > 30$  mm, ter-se-á o caso particular de Cfs, o qual não é seco de verão mas apenas se diz que a época mais seca ocorre no verão.

Cf - Constantemente Úmido.

Se a chuva é de verão	Prp máxima de Verão $< 10p$ ( <i>precipitação do mês mais seco</i> )
Se a chuva é de inverno	Prp máxima de Inverno $< 3p$ ( <i>precipitação do mês mais seco</i> )

### 3.3.12. DIVISÕES DESTA SUBCATEGORIA (C):

Temperatura do mês mais quente $> 22^{\circ}\text{C}$	a – Sub Tropical
Temperatura do mês mais quente $< 22^{\circ}\text{C}$	b – Temperado propriamente dito

Tabela 5 Tem-se nas classificações climáticas pelo método de Köppen para a área em estudo da bacia do rio Uruçuí Preto.

**Tabela 5.** Classificação climática segundo Köppen para a área em estudo.

Ordem	Municípios/Coordenadas	LAT ° '	LONG ° '	ALT m	Classificação Köppen
1	Alvorada do Gurgueia	08 25	43 46	281,0	Bsh
2	Alto Parnaíba	09 07	45 56	220,0	AW
3	Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0	Bsh
4	Fazenda Vereda da Mata	10 22	43 58	500,0	Bsh
5	Fazenda Viração	09 53	43 54	420,0	Bsh
6	Barreiras do Piauí	09 55	45 28	500,0	AW
7	Bom Jesus	09 04	44 21	220,0	Bsh
8	Fazenda Conceição	08 46	44 24	390,0	Bsh
9	Fazenda Barra Verde	09 18	44 31	260,0	Bsh
10	Colônia do Gurgueia	08 10	43 48	200,0	Bsh
11	Corrente	12 26	45 09	434,0	AW
12	Fazenda Barras	10 03	45 04	490,0	AW
13	Fazenda Caxingó	10 31	45 13	500,0	AW
14	Fazenda Jenipapeiro	10 39	45 11	510,0	AW
15	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600,0	AW
16	Cristino Castro	08 48	44 13	240,0	Bsh
17	Fazenda Lagoa Grande	08 33	44 32	320,0	Bsh
18	Fazenda Japeganga	08 44	43 56	240,0	Bsh
19	Fazenda Malhadinha	08 26	43 42	210,0	Bsh
20	Curimatá	10 02	44 17	350,0	Bsh
21	Fazenda São Francisco	10 28	44 03	600,0	Bsh
22	Currais	09 00	44 24	320,0	Bsh
23	Eliseu Martins	08 12	43 23	210,0	Bsh
24	Fazenda Puca	08 03	43 39	280,0	Bsh
25	Fazenda Chupeiro	08 02	43 28	320,0	Bsh
26	Gilbués	09 49	45 21	500,0	AW
27	Fazenda Melancia	09 10	45 15	380,0	AW
28	Fazenda Santa Maria	09 13	45 16	370,0	AW
29	Fazenda Boqueirão dos Felipes	09 45	45 40	580,0	AW
30	Fazenda Bela Vista	09 42	45 23	520,0	AW
31	Fazenda Galheiro	10 03	45 22	630,0	AW
32	Júlio Borges	10 19	44 14	389,0	AW
33	Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0	Bsh
34	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454,0	AW
35	Fazenda Paus	09 33	44 41	280,0	AW
36	Fazenda Vereda da Glória	09 45	44 52	290,0	AW
37	Fazenda Regalo	09 47	45 20	520,0	AW
38	Morro Cabeça no Tempo	09 43	43 54	479,0	Bsh
39	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0	Bsh
40	Parnaguá	10 13	44 38	316,0	AW
41	Fazenda Barreiro	09 59	44 37	310,0	AW
42	Fazenda Mocambo	09,44	44,36	337,0	AW
43	Redenção do Gurgueia	09 30	44 36	365,0	Bsh
44	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0	AW
45	São Gonçalo do Gurgueia	10 01	45 18	440,0	AW
46	Santa Filomena	09 05	46 51	380,0	AW
47	Fazenda Cachoeira	09 15	45 43	380,0	AW
48	Santa Luz	08 55	44 03	340,0	Bsh
49	Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0	AW

Conhecer o clima local é fator imprescindível para planejar os recursos hídricos, haja vista que vários elementos meteorológicos estão inseridos no ciclo hidrológico. Neste contexto, o objetivo do trabalho é avaliar a estimativa dos balanços hídricos climatológicos (BHC) e suas classificações segundo Köppen e Thornthwaite & Mather, para a área da BHRUP. Os meses

de maiores insolação ocorrem entre maio a outubro, com flutuações variando de 223,0 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 ocorre nos meses de agosto a janeiro e 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; conclui-se, então, que a comunidade ribeirinha se utiliza de sistema de irrigação nas atividades agrícolas independente do período seco ou chuvoso.

Segundo Melo et al., (2011) a partir das séries climatológicas normais de temperaturas máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa do ar do INMET, fizeram-se os cálculos do balanço hídrico climatológicos para dois períodos: de 1931-1960 e 1961-1990 que foram utilizados na classificação climática e nas análises das indicações de mudanças climáticas no município de Teresina no estado do Piauí. Para isto, as metodologias de cálculo do saldo do Balanço Hídrico Climático foram utilizadas de acordo com Thornthwaite & Mather (1957) tal como as abordagens das mudanças climáticas e a classificação de Thornthwaite (1948).

#### **4. DIAGNÓSTICO SÓCIOECONÔMICO E AMBIENTAL**

No contexto atual de mudanças ambientais globais e climáticas, o conhecimento e as novas ideias são necessários sobre as modalidades de variação de processos ambientais (como exemplo, geofísico, hidrológico, ecológico) principalmente para distinguir e caracterizar as variações desses processos e as mudanças que os afetam (Rossi et al., 2011). Essas variações climáticas abrangem as regiões rurais e as urbanas, tornando-as essenciais à compreensão dos problemas ambientais e urbanísticos que resultam da ocupação desordenada, auxiliando na gestão e no planejamento urbano ambiental (Franco et al., 2010). Simulações vêm demonstrando pequeno impacto da mudança climática sobre o incremento urbano (Mues et al., 2013), podendo afetar a saúde humana, ecossistemas, biodiversidade e recursos hídricos enquanto em áreas urbanizadas podem, ainda, afetar a infraestrutura urbana, tais como assentamentos e sistemas de água em conformidade com Eum et al., (2013).

A área da BHRUP é de soberana importância para a conservação do bioma cerrado e dos seus recursos hídricos, pois são áreas que abrigam as nascentes dos principais afluentes do rio Parnaíba destacando-se, entre elas, a do rio Uruçuí Preto, que é um de seus principais afluentes.

Segundo Oliveira et. al., (2014) as inundações em áreas urbanas ocorrem desde os primórdios da civilização, seja pela geografia natural dos rios ou pela ação antrópica. No caso da BHRUP não é diferente: seu curso abrange quarenta e nove municípios. A partir da ocupação desordenada de sua área, o processo de expansão e estruturação urbana da área da bacia é contínuo, crescente e desordenado influenciando, de certa forma, o meio ambiente onde é notória a falta de uma política e gerenciamento urbanos “embora esta exista” voltada no sentido de minimizar os impactos resultantes. Desta forma se tem, como objetivo, elencar os impactos ambientais decorrentes da urbanização da BHRUP.

Esta pesquisa é do tipo descritivo-explicativa, realizada a partir de levantamentos bibliográficos, empregados os métodos dedutivos, de análise, de síntese e o dialético. Observa-se ausência de políticas efetivas, ocasionado não só o aumento crescente das doenças de veiculação hídrica, mas também o sofrimento das populações carentes que convivem com a falta de infraestrutura básica. Conclui-se que a BHRUP se encontra bastante degradada e a melhor alternativa para reverter este quadro é incorporar metodologias de caráter participativo, desde que envolvam a comunidade.

Esta bacia vem passando por alterações em sua concepção original em razão dos protótipos de exploração, em toda a sua extensão, fato evidenciado na área desde o início da década de 90, com a implantação de grandes projetos agrícolas em suas áreas. Essas modificações vêm gerando conflitos sociais e ambientais entre os produtores e as comunidades que vivem nas suas proximidades.

A BHRUP composta pelos 25 municípios listados na tabela 6 é nos seus entornos, ocupada por diversas comunidades e com numerosos habitantes que vivem no patamar de pobreza e miséria tendo, como a principal atividade, a agricultura de subsistência e familiar. Os impactos são maiores pelo uso intensivo do solo e há supressão de toda vegetação em grandes extensões territoriais. As bordas das chapadas e vales ainda se encontram mais preservados em decorrência do relevo mais acidentado e solos menos férteis, porém continuam sendo impactados por grandes queimadas e desmatamentos desordenados para venda de lenha e carvão.

**Tabela 6.** Localizações dos municípios seguidos de suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) locais, área territorial e população.

Ordem	Posto	Município	Latitude ° ' "	Longitude ° ' "	Altitude Metros	Área Km <sup>2</sup>	População Hab
1	Alvorada Gurgueia	Alvorada Gurgueia	08 25	43 46	281,0	2131,6	5050
2	Alto Parnaíba - MA	Alto Parnaíba - MA	09 07	45 56	220,0	11132,1	10765
3	Avelino Lopes	Avelino Lopes	10 08	43 57	400,0	1305,5	11067
4	Barreira do Piauí	Barreira do Piauí	09 57	45 29	500,0	2028,3	3234
5	Bom Jesus	Bom Jesus	09 04	44 21	220,0	5469,2	22629
6	Colôniado Gurgueia	Colônia do Gurgueia	08 10	43 48	200,0	430,6	6036
7	Corrente	Corrente	10 26	45 09	434,0	3084,4	25407
8	Cristalândia do Piauí	Cristalândia do Piauí	10 39	45 11	600,0	1202,9	7831
9	Cristino Castro	Cristino Castro	08 48	44 13	220,0	1846,3	9981
10	Curimatá	Curimatá	10 02	44 17	350,0	2337,5	10761
11	Currais	Currais	09 00	44 24	320,0	3156,6	4704
12	Elizeu Martins	Elizeu Martins	08 12	43 23	210,0	1090,5	4665
13	Gilbués	Gilbués	09 50	45 21	500,0	3494,9	10402
14	Julio Borges	Julio Borges	10 19	44 14	389,0	1297,1	5373
15	Manoel Emídio	Manoel Emídio	07 59	43 51	200,0	1618,9	5213
16	Monte Alegre do Piauí	Monte Alegre do Piauí	09 45	45 17	454,0	2417,9	10345
17	Morro Cabeça no Tempo	Morro Cabeça Tempo	09 43	43 54	479,0	2116,9	4068
18	Palmeira do Piauí	Palmeira do Piauí	08 48	44 18	268,0	2023,5	4993
19	Parnaguá	Parnaguá	10 13	44 38	316,0	3429,3	10273
20	Redenção Gurgueia	Redenção Gurgueia	09 30	44 36	365,0	2467,9	8400
21	Riacho Frio	Riacho Frio	10 07	44 57	400,0	2222,1	4241
22	S. Gonçalo do Gurgueia	S. Gonçalo do Gurgueia	10 01	45 18	440,0	1385,3	2825
23	Santa Filomena	Santa Filomena	09 05	45 51	380,0	5285,4	6096
24	Santa Luz	Santa Luz	08 55	44 03	340,0	1186,8	5513
25	Sebastião Barros	Sebastião Barros	10 49	44 50	360,0	893,7	3560

Fonte: IBGE (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense - APPM (2011); ( ) sem informações.

Outro aspecto das novas sensibilidades estava na paisagem rural. A prática de plantar em linha reta não era apenas um modo eficiente de aproveitar espaços escassos; mas também representava um meio agradável de impor a ordem humana ao mundo natural desordenado. Cuidado, simetria e padrões formais, sempre foram à característica humana de indicar a separação entre cultura e natureza; todavia, antes mesmo de terminar o século XVIII, o gosto mudou e quanto mais selvagem a cena de destruição à natureza, maior seu poder de inspirar a emoção (IBGE (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense - APPM (2011)).

Em 1998 as atividades prioritárias para os municípios da bacia em estudo foram, entre outras, o arroz, feijão, milho, soja e mandioca de sequeiro, considerados de alta prioridade. Relacionam-se ainda, as atividades, como a bovinocultura, ovinocultura, avicultura suinocultura e apicultura, consideradas de média prioridade (Fonte, Banco do Nordeste perfis Econômicos dos Municípios – Piauí, in [www.pi.gov.br](http://www.pi.gov.br)) tendo, como principal produto mais importante o arroz de sequeiro, porém nos últimos anos a soja vem ocupando gradativamente as áreas dos municípios da bacia.

A investida de manipulo de ecossistemas pelas bacias hidrográficas e sua inter-relação com os sistemas socioculturais e econômicos, já se encontra incorporada ao eixo conceitual para os serviços ambientais que devem ser compatibilizados ao se trabalhar a questão da qualidade ambiental no planeta (FAO, 2007).

Segundo Rocha e Kurtz (2001) o estudo sistêmico encontrado em um manejo integrado de bacias hidrográficas, visa à recuperação ambiental de áreas degradadas, equilibrando os ecossistemas e buscando a sustentabilidade dos recursos naturais renováveis, através da elaboração e aplicação de diagnósticos qualitativos e quantitativos.

Metodologias de diagnóstico socioambiental empregadas por organismos que atuam em desenvolvimento sustentável pelo mundo, apresentam, como eixo conceitual, operacional e analítico, a questão territorial e sua articulação com os demais sistemas socioeconômicos, culturais e ambientais (Rocha, 1997; Dourojeanni, 2001; Sepulvedas, 2008) e se encontram direcionadas para o conhecimento da realidade local e/ou regional, a partir do planejamento de intervenções que objetivam dar à articulação dos locais boas sustentações, admitindo que as comunidades tendam a se especializar naquelas atividades que apresentam vantagens comparativas (Sepulvedas, 2008).

#### **4.1. IMPACTOS AMBIENTAIS**

Um dos maiores impactos ambientais aos recursos naturais (fauna e flora) é a alta incidência de caçadores executando a caça predatória entre fêmeas e filhotes; a falta de planejamento de áreas de preservação permanente para a agricultura de subsistência e familiar; a existência de grandes áreas com processos erosivos, deslizamentos de encostas e assoreamento de leitos de córregos e rios; o evento de intensas áreas queimadas e com desmatamento; a falta de assistência técnica e orientação aos pequenos e médios agropecuaristas para melhores produtividades do uso da terra; a prática da monocultura em grandes áreas e o desmatamento de grande porte nas áreas ribeirinha do rio Uruçuí Preto e seus afluentes.

Segundo Medeiros et al. (2014) a degradação ambiental que ocorre em regiões de bacias hidrográficas, relacionando alguns impactos ambientais e suas características abordando como equacionar, de forma positiva, esses impactos, ou seja, como revitalizar as áreas degradadas se evidencia, como exemplo, a BHRUP no sudoeste do estado do Piauí, com toda a sua peculiaridade climática, no tempo e no espaço. Concluindo que com medidas de manejo adequadas e ações mitigadoras a recuperação das áreas impacta das bacias hidrográficas ocasionará a melhoria da qualidade da água, no combate e no controle da poluição difusa, no melhoramento da flora e conseqüentemente da fauna, ou seja, uma reabilitação ambiental quase completa, favorecendo o meio ambiente e conseqüentemente o homem.

#### **4.2. FRUTICULTURA E CEREAIS**

De acordo com a CODEVASF (2006), a fruticultura surge na área em estudo, com grande desenvolvimento em função da localização geográfica do estado, dos recursos naturais disponíveis, como solo e água, dos fatores climáticos e do alto grau de luminosidade durante todo o ano.

O território da Chapada das Mangabeiras, no Alto Parnaíba, onde está inserida a BHRUP, reúne as condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas frutíferas de sequeiro, como caju, umbu, cajá, mangaba, banana, abacaxi e buriti; para as culturas irrigadas, são indicadas manga, banana, acerola, lima ácida e maracujá, entre outras.

Na parte dos cereais se destaca a soja como maior concentração de plantio e colheitas em diversos municípios dentro da área em estudo, destacando-se ainda o arroz, o feijão e o milho que são plantados e têm boas estimativas de rendimentos nas produtividades. A

mandioca e a banana estando presente em quase todos os municípios e sua produtividade vão desde pequenas a altas produções.

A Tabela 7 demonstra a produção de cereais e frutas por município para a área da BHRUP. O destaque principal, no entanto, é o caju, que ocupa área de exploração comercial, ainda sem grande relevância, mas é cultivado em toda a região, principalmente na área da Chapada da Ibiapaba, demonstrando forte tendência à ampliação em virtude da excelente aceitação de sua castanha nos mercados nacional e internacional e na região, com a perspectiva da vinculação da atividade apícola à sua cultura.

**Tabela 7.** Produção de cereais e frutas por município para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios/cereais/frutas	Feijão	Mandioca	Milho	Castanha de Caju	Soja	Banana	Arroz
Alvorada do Gurgueia	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 Gurgueia	198	180	752	58		36	200
Corrente	180	1772	1764	14	225	200	336
Cristalândia 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 Gurgueia	279	240	720	24	4054	252	1080
Riacho Frio	108	600	495			100	100
S. Gonçalo do Gurgueia	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 (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense - APPM (2011); ( ) sem informações.

A produção da castanha de caju ainda é escoada in natura para o Ceará, porém algumas iniciativas de beneficiamento, ainda que incipientes, já despontam na região.

A região hidrográfica do Uruçuí Preto vem apresentando nas últimas décadas, grandes transformações em seu arranjo econômico, por um conjunto de iniciativas públicas e privadas, notadamente na área do transnacional da agricultura, como Monsanto, Cargill e Bunge, além de grandes capitalistas brasileiros do agronegócio, preponderantemente em terras da União, o que possibilitou a abertura de novas fronteiras agrícolas na região.

Em escala empresarial, o agronegócio introduziu um sistema altamente modernizado com base na exploração do cultivo de soja e do arroz de sequeiro, com uma agricultura totalmente mecanizada, que contrata a mão-de-obra local, desqualificada, apenas para tarefas auxiliares no processo de desmatamento e limpeza do terreno. Após o desmate e a limpeza, entra a mão-de-obra especializada e operadora das máquinas importada do sul do país, sendo esta produção destinada tanto ao mercado nacional quanto ao internacional.

A década de 1980 representa o início da expansão da soja, atingindo os municípios de Alto Parnaíba, Sambaíba, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso, no Maranhão, e os municípios de Ribeiro Gonçalves e Uruçuí, no Piauí; todos apresentam uma produção expressiva e crescente, sendo hoje importantes núcleos produtores com destaque para Tasso Fragoso e Uruçuí, como os maiores produtores da bacia.

#### **4.3. PRODUÇÃO DE ANIMAIS E ESTABELECIMENTOS AGRICOLAS, DA APICULTURA E A OVINOCAPRINOCULTURA**

A ovinocultura é uma atividade de grande importância social e econômica. Na região Nordeste a maior parte dos ovinos é criada extensivamente, em pastagens com pouca ou nenhuma sombra, o que aumenta a necessidade de dissipar o calor absorvido pela exposição à forte radiação solar, de acordo com Santos et al. (2011).

Animais com epiderme pigmentada, pelos curtos, claros e assentados e com pelame pouco denso, têm maior proteção contra a radiação e a eficiência da termólise. Essas características são as mais desejáveis para animais que vivem em climas quentes e em condição de pastagem, como ovinos, segundo Façanha et al. (2010).

A produção de animais se tem destacado na área de estudo, principalmente as criações dos bovinos e as das aves que estão presentes em quase todos os municípios que entorna a bacia. Os municípios que têm as maiores criações de bovino são: Avelino Lopes, Corrente, Gilbués, Curimatá, Parnaguá e Sebastião Barros; já os municípios de Bom Jesus, Curimatá, Monte Alegre do Piauí, Parnaguá e Sebastião Barros se destacam por serem os municípios com maiores criações de aves. Quanto à apicultura foi estruturado seu fortalecimento com prioridades de ações voltadas para a agregação de valor aos produtos apícolas produzidos nas diversas comunidades, de modo a promover a melhoria da comercialização e incentivar o associativismo, destacando-se os seguintes empreendimentos: Implantação do Centro Tecnológico da Apicultura, em Picos.

A estruturação e o fortalecimento da ovinocaprino cultura tiveram, por finalidade, promover a melhoria dos índices zootécnicos do rebanho e o incremento da renda do produtor,

priorizando as seguintes ações: Implantação do Núcleo de Manejo e Reprodução de Ovinos e Caprinos de São João do Piauí; Implantação de 15 Unidades de Transferência de Tecnologia de Ovinocaprinocultura.

**Tabela 8.** Produção animal por município para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios/animais	Assinos	Aves	Bovinos	Caprinos	Equinos	Muare	Ovinos	Suínos
Alvorada Gurgueia	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 Gurgueia	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 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 Gurgueia	66	14320	12984	500	394	115	354	904
Riacho Frio	291	17863	19024	247	900	147	1748	877
S. Gonçalo Gurgueia	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 (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense - APPM (2011); ( ) sem informações

Destaca-se que os assentamentos existentes na área em estudo, não têm assistência técnica adequada e que, em sua maioria a agricultura desenvolvida é a de sobrevivência e com velhas tradições para a realização dos plantios. Com a implantação do sistema de agricultura família nestes referidos assentamentos, o EMATERPI e a ONG vêm realizando trabalhos e treinamento para que as comunidades tenham maiores rendimentos e produtividades.

Na Tabela 9 tem-se o demonstrativo dos números de propriedades; assentamentos sem titulação definitiva; números de arrendatário; números de parceiro; números de ocupantes e produtores por município, para a área da BHRUP.

**Tabela 9.** Quantidade de proprietários, assentado sem titulação definitiva, arrendatário, parceiro, ocupante e produtor por município, para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios	PROPRIETÁRIOS	ASSENTADO SEM TITULAÇÃO DEFINITIVA	ARRENDATÁRIO	PARCEIRO	OCUPANTE	PRODUTOR
Alvorada do Gurguéia	350	176	9	57	275	16
Avelino Lopes	1131	1	14	2	131	153
Barreiras do Piauí	234	6			21	19
Bom Jesus	507	90	14	33	121	233
Colônia Gurguéia	200	27	7	1	3	
Corrente	1161	4	14	6	344	79
Cristândia do Piauí	814	5	1	2	93	75
Cristino Castro	293	112	10	6	22	4
Curimatá	882	17	11	1	26	86
Currais	563		6	1	68	1
Eliseu Martins	280	16	26	12	94	31
Gilbués	651			3	293	97
Júlio Borges	601				76	171
Manoel Emidio	206	201	17	14	56	59
Monte Alegre do Piauí	815		14	3	191	15
Morro Cabeça Tempo	530	10		3	16	109
Palmeira do Piauí	517	1	39	19	61	104
Parnaguá	919	61	2	1	36	43
Redenção do Gurguéia	377	23	22	10	51	117
Riacho Frio	432	9		4	3	179
S. Gonçalo do Gurguéia	205			1		89
Santa Filomena	351	9	1	1	91	28
Santa Luz	327	3	11	1	99	2
Sebastião Barros	509				92	50

Fonte: IBGE (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense- APM (2011); ( ) sem informações

Outro destaque se refere aos arrendatários que, em grande maioria, vêm de outros estados e começam a implantação de monocultura de grandes áreas; esses arrendatários trabalham exclusivamente com pessoas de outros locais e com equipamentos de nova geração, tanto para o prepara da terra como para semeadura e colheitas, a mão-de-obra que essas pessoas utilizam da própria região, é muito pequena.

O número de ocupantes de terras sem registros na área de estudo é significativo; eles exploram a terra e sua vegetação, quando a terra começa a dar sinal de pouca rentabilidade, eles as desprezam, deixando-as ao tempo e ao desgaste da erosividade.

Uma tecnologia que os grandes proprietários realizam, diz respeito aos plantios diretos e, quando realizam as colheitas, deixam os restos das culturas no próprio campo e muitos deles plantam milho e depois os trituram para realização de cobertura de campo.

#### **4.4. TRANSPORTE E RENDA**

Os acessos para o deslocamento da população a algumas regiões da BHRUP são praticamente inviáveis por meio automotivos, devido às más condições das estradas existentes, como: falta de transporte coletivo; o transporte é oferecido apenas uma vez a cada mês, para a população da região. O meio de transporte mais utilizável para pequena e média distância, é o cavalo e o burro.

A população residente na BHRUP vive, em sua grande maioria, na situação de necessidade; poucas famílias recebem alguns benefícios do governo, sobretudo aqueles habitantes da zona rural mais interiorana; basicamente, sua renda vem da venda de madeiras clandestinas, do carvão e da troca de produtos nativos; destaca-se que a bolsa família está inclusa em todos os municípios e em pouca fazenda da área em estudo sendo os municípios que têm os menores implantes da bolsa família: Barreiras do Piauí; Currais; Eliseu Martins; Morro Cabeça no Tempo; Riacho Frio e São Gonçalo do Gurgueia. Os municípios que tem as maiores aplicabilidades da bolsa família são: Avelino Lopes; Bom Jesus; Corrente; Curimatá; Gilbúes; Monte Alegre do Piauí e Parnaguá.

Na Tabela 10 se demonstra a quantidade da população, a densidade populacional, os habitantes com renda de salário mínimo, os habitantes com renda mais que o salário mínimo e a quantidade de bolsa família por município, para a área da BHRUP.

**Tabela 10.** População, densidade populacional, habitantes com renda de salário mínimo, habitantes com renda mais que o salário mínimo e quantidade de bolsa família por município, para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios/população/ salário/densidade	População	Densidade	Salário mínimo	Mais que o salário	Bolsa família
Alvorada do Gurguéia	5051	2,37	1557	986	964
Avelino Lopes	11051	8,48	4352	5520	2280
Barreiras do Piauí	3234	1,59	1401	1157	554
Bom Jesus	22632	4,14	6517	9023	2840
Colônia do Gurguéia	2967	14,02	2285	2509	1089
Corrente	25408	8,33	9694	12718	3692
Cristalândia do Piauí	7831	6,51	2008	4151	1404
Cristino Castro	9981	5,41	4078	4690	1612
Curimatá	10765	4,6	3661	4304	1868
Currais	4704	1,49	1514	2494	920
Eliseu Martins	4667	4,28	1540	2567	724
Gilbués	10393	2,98	3922	6083	1745
Júlio Borges	5377	4,14	1878	2701	982
Manoel Emídio	2700	3,22	2208	2840	873
Monte Alegre Piauí	10349	4,28	3688	5473	1776
Morro Cabeça Tempo	4068	1,92	2305	2086	812
Palmeira do Piauí	4993	2,47	2442	2352	875
Parnaguá	10265	3	4328	4740	1833
Redenção do Gurguéia	8403	3,4	2584	4021	1477
Riacho Frio	4238	1,91	1833	2433	907
S. Gonçalo Gurguéia	2825	2,04	1142	909	364
Santa Filomena	6096	1,15	2603	3229	955
Santa Luz	5513	4,65	2255	2492	998
Sebastião Barros	3559	3,98	2641	1697	874

Fonte: IBGE (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense- APPM (2011); ( ) sem informações

#### **4.5. AÇÕES DE MELHORAMENTO DA QUALIDADE DE VIDA E CARACTERIZAÇÕES DO SISTEMA DE EDUCAÇÃO E DA SAÚDE PÚBLICA**

As famílias residentes no entorno da bacia hidrográfica em estudo sofrem muito pela inexistência de postos de saúdes que possibilitem o atendimento médico na região, sendo necessário se deslocarem até os centros urbanos dos municípios mais próximos em busca de atendimento.

É comum encontrar agentes de saúde no entorno dos municípios que executam o atendimento apenas dentro da área municipal, com visitas em cada casa, uma vez por mês; mesmo assim, não se tem distribuição de medicamentos e os atendimentos dos agentes de saúde ficam a desejar.

É comum observar pessoas com sérios problemas de saúde, uns já com seus diagnósticos médicos, e sem o devido tratamento necessário, além de outros habitantes com problemas de saúde sem diagnóstico e sem tratamento. Verificam-se enfermidades como câncer, desnutrição, deficiência física, mental e outras menos graves, como as diarreias.

Falta de atendimento médico para a população que mora nas partes interiorana da bacia; a não existência de posto de saúde; faltam de assistência a pessoas com deficiência física, problemas mentais e enfermidades graves; inexistência de transporte para encaminhar a população para tratamento médico nas cidades; e Falta de distribuição de medicamentos à referida população.

As famílias que residem na parte mais interiorana da área em estudo possuem baixa escolaridade ou são analfabetos; há escolas construídas pelas prefeituras, algumas improvisadas; nelas é ministrado o ensino da 1ª a 4ª série do ensino fundamental. O sistema oferecido não separa diferentes classes nem níveis de conhecimento entre os alunos, em que os mesmos são atendidos conjuntamente por um único professor. Os professores ali residentes possuem baixa escolaridade, em virtude de muitas vezes, nem terem, sequer, concluído o nível médio.

A assistência por parte dos gestores públicos é ineficiente e inadequada quanto às necessidades básicas previstas pelo Ministério da Educação e Cultura. As crianças da região, após terminarem a fase do ensino fundamental oferecido na região, necessitam mudar-se para uma das cidades mais próximas a fim de continuar os estudos. Assim quando desprovidas de apoio logístico e financeiro para tal, abandonam o estudo e procuram um lugar dentro da extensão territorial que cobre a BHRUP para sua sobrevivência.

Falta de pessoas capacitadas para trabalhar na área de educação; as instituições de ensino são precárias e sofrem descaso por parte do poder público municipal e estadual; inexistência de transporte escolar para a população da região; falta de interesse da comunidade pelos estudos, sobretudo devido à dificuldade de locomoção e distância das escolas.

Uma estruturação melhor e adequada, das associações locais; Capacitação dos líderes das comunidades e de sua população; Tornar a comunidade mais atuante na região; Promover a regularização fundiária da população que vive nos locais; mais construções de escolas com novas tecnologias cujos professores devem estar capacitados e possam realizar a aplicação de programas de alfabetização de jovens e adultos; assistência médica e odontológica melhor e mais adequada com construção e abertura de postos de saúde mais adequados à região; um bom Planejamento integrado à qualidade da água e à agropecuária (socioambiental) da região, pelo poder público; assistência técnica de boa qualidade na área de extensão rural, promovendo melhores práticas agropecuárias, utilização dos recursos naturais, de forma sustentável e melhoria na geração de renda.

Já se presenciavam os transportes escolares em algumas comunidades e escolas rurais com melhores condições de ensino à sua comunidade.

Diversas cidades do mundo dispõem de sistemas de esgotos para disposição de águas residuais e, mesmo assim, sofrem sérios problemas de ordem ambiental e de saúde pública, especialmente durante períodos de chuvas intensas quando os esgotos se misturam com águas pluviais. Águas pluviais combinadas com águas residuais sem tratamento na Amazônia é uma severa realidade registrada por pesquisadores da região de acordo com os autores Cunha et al. (2004); Miranda et al. (2009); Cunha (2013).

Na Tabela 11 se demonstra o ensino fundamental; médio; pré-escolar; número de estabelecimentos de ensino e o número de professores por município para a área da BHRUP.

**Tabela 11.** Ensino fundamental; médio; pré-escolar; número de estabelecimentos de ensino e número de professores por município, para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios/ensino	Fundamental	Médio	Pré-escola	Estabelecimentos	Professores
Alvorada do Gurguéia	1209	285	299	14	96
Avelino Lopes	2291	215	336	38	97
Barreiras do Piauí	780		176	21	53
Bom Jesus	4512	1472	850	35	255
Colônia Gurguéia	1193	498	243	14	66
Corrente	6866	1465	1030	64	331
Cristalândia do Piauí	1588	427	257	30	117
Cristino Castro	2370	596	443	20	45
Curimatá	2332	656	745	37	215
Currais	1478	260	452	26	80
Eliseu Martins	824	197	161	12	69
Gilbués	2906	402	183	60	211
Júlio Borges	1326	333	264	19	67
Manoel Emidio	1249	180	184	14	87
Monte Alegre do Piauí	2665	549	266	44	183
Morro Cabeça Tempo	1122	202	215	22	83
Palmeira do Piauí	1022	120	173	31	89
Parnaguá	2630	480	737	34	139
Redenção Gurguéia	1892	406	452	15	130
Riacho Frio	959	205	153	22	64
S. Gonçalo Gurguéia	610	144	139	12	44
Santa Filomena	1515	261	90	31	98
Santa Luz	956	167	154	10	70
Sebastião Barros	1103	161	258	31	84

Fonte: IBGE (2010); Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense- APPM (2011); ( ) sem informações

Na Tabela 12 tem-se o demonstrativo de unidade de resíduo sólido; saneamento total; abastecimento de água; forma de execução do abastecimento d'água; abastecimento da água da prefeitura; águas pluviais executadas pela prefeitura; abastecimento de água por outras entidades; rede de distribuição de água; tratamento de águas em m<sup>3</sup>; rua pavimentada com asfalto e com drenagem e cursos de água intermitentes dos municípios, para a área da BHRUP.

Tabela 12. Unidade de resíduo sólido; saneamento total; abastecimento de água; forma de execução do abastecimento d'água; abastecimento da água da prefeitura; águas pluviais executadas pela prefeitura; abastecimento de água por outras entidades; rede de distribuição de água; tratamento de águas em m<sup>3</sup>; rua pavimentada com asfalto e com drenagem e cursos de água intermitentes dos municípios, para a área da BHRUP e seu entorno.

Municípios	Unidade de resíduo sólido	Saneamento total	Abastecimento d'água	forma de execução do abastecimento d'água	Abastecimento d'água Prefeitura	Águas pluviais executadas Prefeitura	Domicílios com abastecimento d'água	Rede de distribuição d'água	Tratamento d'água m <sup>3</sup>	Rua pavimentada com asfalto com drenagem	Curso d'água intermitente
Alvorada Gurgueia	1	1	1	1	1	1	1117	1	1098	1	1
Alto Parnaíba	1	1	1	1	1	1	2000	1	2000	1	1
Avelino Lopes	1	1	1		1	1	12696	1	1280	1	1
Barreiras Piauí	1	1	1		1	1	793	1	700		
Bom Jesus	1	1	1		1	1	7728	1	8730	1	1
Colônia Gurgueia	1	1	1	1	1	1	2319	1	2177	1	
Corrente	1	1	1	1	1	1	5822	1	4047		1
Cristalândia Piauí	1		1	1	1	1	1288	1	970		1
Cristino Castro	1	1	1	1	1	1	3102	1	2455	1	
Curimatá	1	1	1	1	1	1	2308	1	2804	1	1
Currais	1	1	1	1	1	1	1135	1	325		1
Eliseu Martins	1		1		1	1	1686	1	2050		
Gilbués	1		1		1	1	2064	1	1172	1	1
Júlio Borges	1		1		1	1	844	1	550	1	1
Manoel Emídio	1		1		1	1	1747	1	1400	1	1
Monte Alegre Piauí	1		1		1	1	1669	1	1170	1	1
Morro CabeçaTempo	1		1		1	1	544	1	1015	1	1
Palmeira Piauí	1		1		1	1	1119	1	660	1	1
Parnaíba	1		1		1	1	1226	1	852	1	1
Redenção Gurgueia	1		1		1	1	2158	1	1580	1	1
Riacho Frio	1		1		1	1	745	1	500	1	1
S Gonçalo Gurgueia	1		1		1	1	610	1	200	1	1
Santa Filomena	1		1		1	1	672	1	780	1	1
Santa Luz	1		1		1	1	1647	1	700	1	1
Sebastião Barros	1		1		1	1	950	1	225	1	1

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.

O abastecimento de água tem participação significativa na qualidade de vida das comunidades. Nas áreas de secas frequentes, particularmente, a questão é mais grave, tendo em vista que se somam os problemas advindos da pequena disponibilidade hídrica e os de gestão da água existente, associados às formas de captação e armazenamento, para suprir as necessidades da população e lhe oferecer melhores condições de vida, em momentos de escassez hídrica.

Equipamentos e serviços de saneamento básico podem ser as principais barreiras para reduzir a frequência e a intensidade dos impactos de efeitos de enchentes, principalmente em regiões de alta vulnerabilidade socioambiental, sujeitas a enchentes como, por exemplo, na

Amazônia (Oliveira e Cunha, 2014).

O IBGE (2010) revela que a ausência de saneamento básico acarreta poluição grave dos recursos hídricos, visto que o esgoto é despejado diretamente nos corpos de água, sem qualquer tratamento, favorecendo prejuízos à saúde da população e ao aumento da mortalidade infantil. Nesses casos há indícios de que o risco de epidemias tende a ser mais elevado em períodos de cheias (Oliveira e Cunha, 2014; PBMC, 2012). Assim, os problemas de abastecimento de água e saneamento são responsáveis por aproximadamente 80% de todas as doenças de origem hídrica e mais de um terço das mortes em países em desenvolvimento é causados pelo consumo de água contaminada (Hespanhol, 2002).

#### **4.6. COBERTURA E USO DO SOLO**

A classificação da cobertura e do uso, além da ocupação do solo da região, foi feita levando-se em consideração sete classes de uso.

As classes de cobertura e uso do solo são:

- 1 - Mata – Neste padrão de classe as fitofisionomias enquadradas foram: matas de galeria, matas ciliares, cerradão, veredas;
- 2 - Cerrado – Nesta classe foi identificada a fitofisionomia cerrado no geral;
- 3 - Cerrado Quebrado – É identificado como a área que já sofreu processo de desmatamento e, atualmente, está em processo de regeneração natural, denominado desta forma devido à presença de algumas espécies nativas, ocorrendo menor diversidade de espécies;
- 4 - Queimada – Áreas em que ocorreu a ação do fogo, seja pela ação antrópica ou por processo de combustão natural do cerrado, para se efetuar a limpeza de certas áreas;
- 5 - Agricultura – Foi caracterizada como área de plantio de grãos, dos projetos e fazendas do entorno da região do Rio Uruçuí Preto;
- 6 - Área Antropizada – Nesta classe se enquadram as áreas utilizadas pelas comunidades, como áreas residenciais, pequenas roças, pastos e outras atividades antrópicas;
- 7 - Água – Foram englobados nesta classe, cursos da água, definidos pela CPRM, rios, riachos, lagos e lagoas.

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 à montante do riacho Corrente no estado do Piauí, cujos resultados mostram que em 48,4% da área da bacia não ocorreu exploração enquanto 35,2% apresentaram exploração média e 16,4% exploração mais intensa.

Ferraz et. al. (2014) quantificaram 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 o riacho da Colher, localizados ao oeste do estado do Piauí. Os resultados obtidos apontaram exploração acentuada do solo na região de estudo, com 42,4% da área apresentando alguma forma de exploração. Os autores evidenciaram aumentos significativos do uso e exploração do solo na área estudada.

De acordo com França et al., (2014) o rio Uruçuí Preto apresenta elevada importância econômica e ecológica, visto que drena, várias cidades localizadas na região sudoeste do estado do Piauí; sua bacia apresenta diversos afluentes, um dos quais, o riacho da Estiva, que vem sofrendo crescente processo de abertura de novas áreas de monoculturas anuais para produção de soja, principalmente desde a década de 80, o que vem favorecer o crescimento econômico para a região e elevados impactos ambientais, tais como a supressão da vegetação nativa que correspondente ao bioma cerrado. Os resultados apontaram elevado grau de desmatamento e, em contrapartida, perda da vegetação nativa, alta intensidade de uso e ocupação do solo, sinalizando que o desmatamento da área do cerrado foi entre 1984 a 2011 de 55,27%.

**Tabela 13.** Quantificação do uso, ocupação do solo e porcentagem de cada classe.

Uso	Área (ha)	%
Mata	10.103,62	4,6
Cerrado	177.111,32	81,3
Cerradão	8.297,16	3,8
Queimada	14.194,13	6,5
Agricultura	751,76	0,3
Área	1.952,80	0,9
Água	248,88	0,1
Total	212.659,67	97,5

FONTE: IBGE, 2006

## 4.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO URUÇUÍ PRETO

Medeiros (2000) mostrou que a precipitação média anual no estado do Piauí tem acréscimo de valores no sentido leste-oeste, provocado pelos fatores influenciadores das precipitações, no estado (Figuras 6 a, b, c, d, e).

A Figura 6 (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 6a 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.

A Figura 6b 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.

A Figura 6c 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.

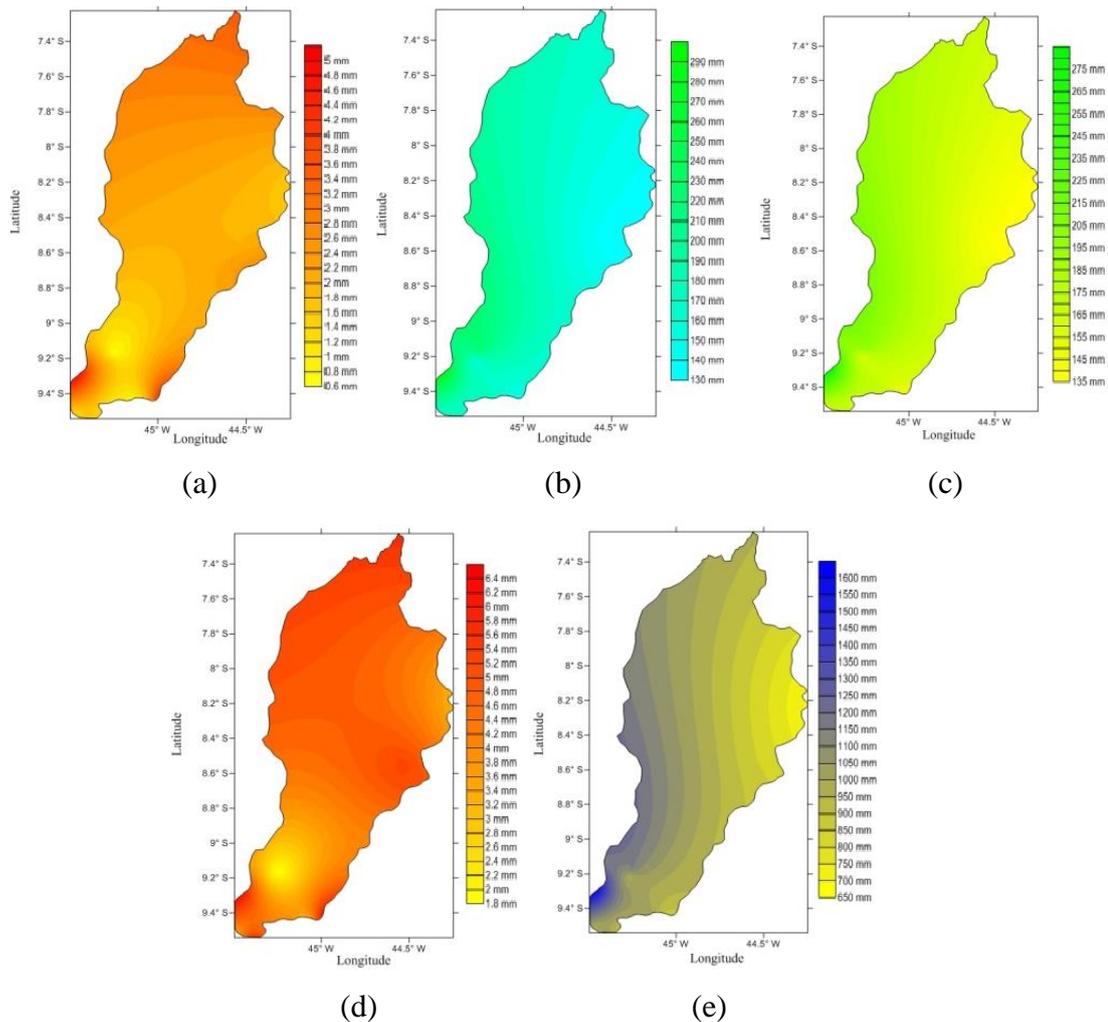


Figura 6. Precipitação (mm): (a) mínima; (b) máxima; (c) quadrimestre chuvoso; (d) quadrimestre seco; (e) e anual.

Na Figura 6d 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.

Na Figura 6e 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.

#### **4.2.1. TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA, MÉDIA E AMPLITUDE TÉRMICA**

##### **4.2.1.1. OS B-R-O-BROS E SUAS VARIAÇÕES NO ESTADO DO PIAUÍ**

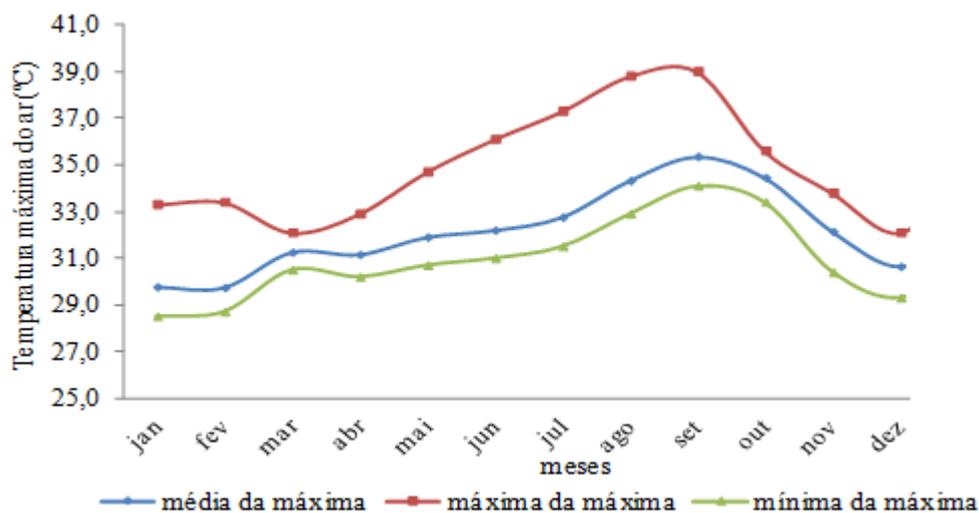
Os b-r-o-bros é uma evidencia que a população piauiense vem acompanhando deste século passado, esta crença vem sendo alimentada e passada de pai para filho até os nossos dias. Do ponto de vista meteorológico, após o termino do período chuvoso, ocorre um período de clima e tempo suavizado (junho a agosto), devido aos fatores atuantes no período chuvoso e a aproximação dos sistemas meteorológicos transientes, que irão contribuir para uma mudança de tempo e clima mais severo nos meses seguintes (setembro a dezembro).

Os b-r-o-bros são flutuações meteorológicas que começam a oscilar logo após o término do período chuvoso na região sul do estado. Neste período compreendido entre os meses de setembro a dezembro observar-se as variações dos parâmetros meteorológicos com maiores intensidade que a normal. Seu inicio sempre ocorrem entre os dias 15 e 23 de setembro e prolonga-se até o mês de dezembro, principalmente para as regiões norte e semiárida piauienses.

Na região sul do Estado onde esta localizada a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto observa-se que os b-r-o-bros são menos intensos devidos os fatores meteorológicos da região serem mais ativos, no comportamento do vento, umidade relativa do ar, insolação e nebulosidade, que das duas regiões citadas

Observa-se, na Figura 7, 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.



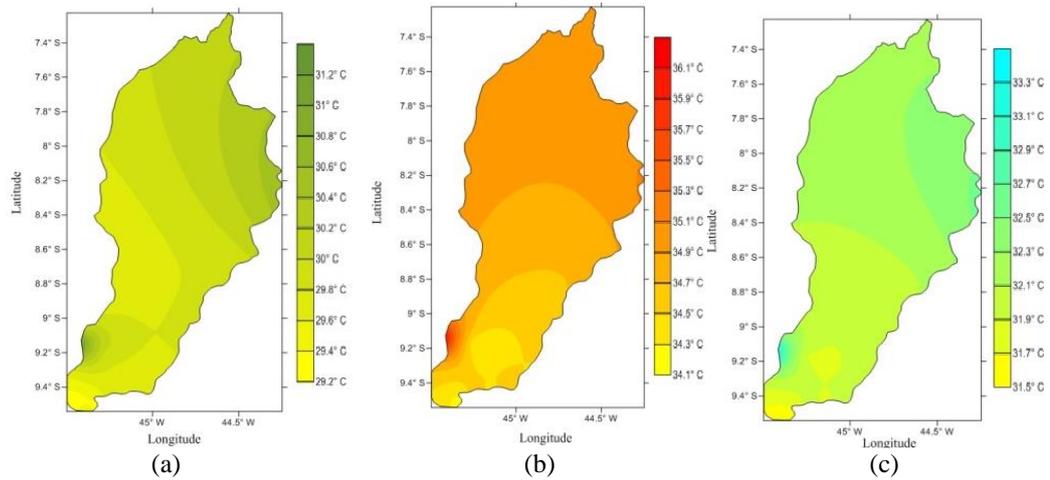
**Figura 7.** Ciclo anual da temperatura média da máxima, máxima da máxima e mínima da máxima para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

As Figuras 8a, 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 8a 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.

Nota-se na Figura 8b 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.

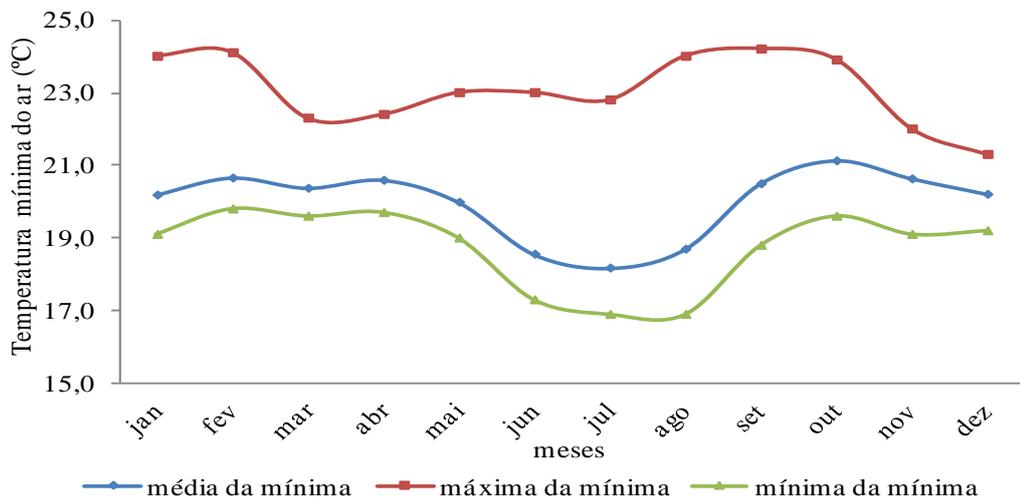
A variabilidade anual da temperatura máxima ocorre com maiores intensidades nas áreas isoladas dos setores sudoeste e nordeste e em pequena faixa da região central de acordo com a Figura 8c. A variabilidade anual ocorre na faixa de 31,5 a 33,3 °C em toda a bacia em estudo. As Figuras 8b e 8c apresentaram configurações espaciais semelhantes à Figura 14a, portanto, as razões físicas para essas configurações são as mesmas.



**Figura 8.** 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. Período: 1960-1990.

Figura 9 se verifica uma redução significativa nas temperaturas mínimas média da área estudada entre os meses de maio a agosto, cujas flutuações ocorrem entre 18,2 °C no mês de julho a 21,1 °C em outubro, com temperatura anual de 20,0 °C; já os municípios de Alto Parnaíba se apresentaram como os de maiores incidências de temperatura máxima da máxima e o município de menor incidência de temperatura mínima máxima é Gilbués.

As temperaturas médias da mínima durante o período da madrugada estão sofrendo aquecimento devido o resfriamento radiativo da terra, o aquecimento diferenciado entre terra e água na cultura e a evaporação.



**Figura 9.** Ciclo anual da temperatura média das mínimas, média máxima das mínimas e média mínima das mínimas para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

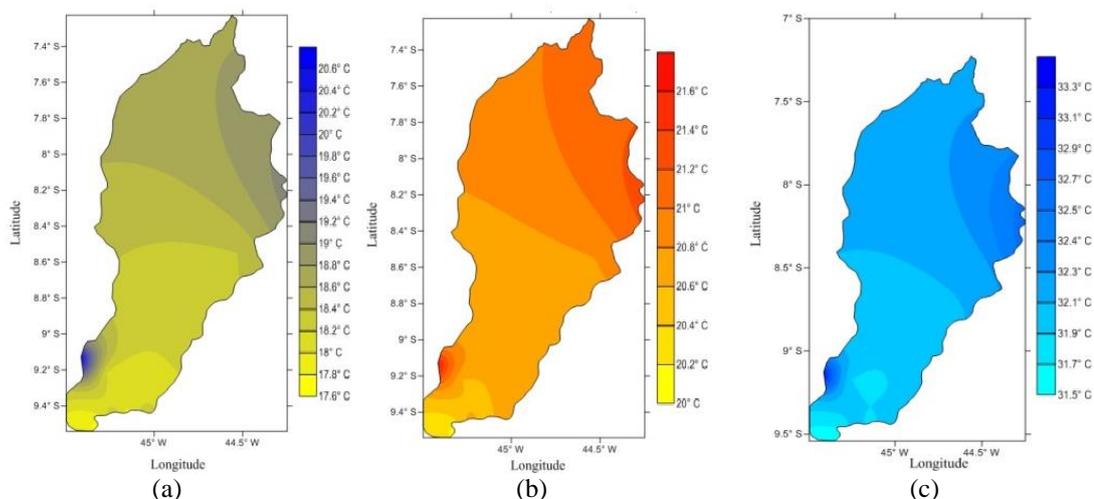
A Figura 10 (a, b, c) representa a variabilidade espacial das temperaturas médias mensais das mínimas: (a) menor temperatura mínima mensal; (b) maior temperatura mínima mensal; (c)

média anual das temperaturas mínimas, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. As configurações espaciais são análogas as da Figura 9.

Na Figura 10a 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.

Na Figura 10b 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 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.

A Figura 10c 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.



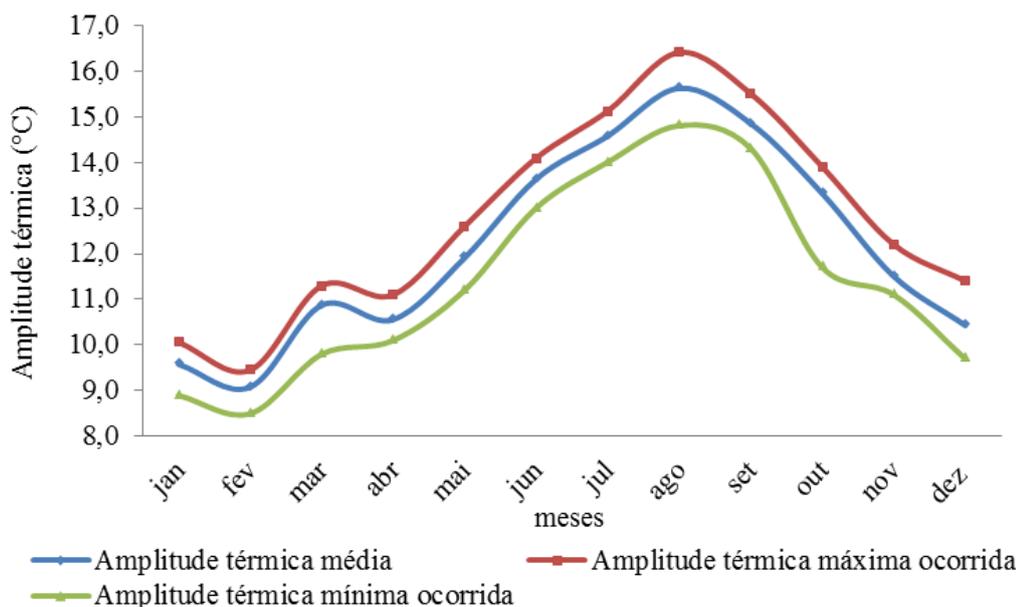
**Figura 10.** Variabilidade espacial da temperatura médias mensais das mínimas: (a) menor temperatura mínima mensal; (b) maior temperatura mínima mensal; (c) média anual das temperaturas mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período 1960-1990.

A amplitude térmica está apresentada na Figura 11 em que se observa a amplitude térmica média do período de 1960-1990, a maior amplitude térmica ocorrida no período analisado e a menor amplitude térmica do período.

Verifica-se na Figura 11 variabilidade da amplitude térmica entre os meses de fevereiro a agosto; suas flutuações ocorrem entre 9,1 °C no mês de fevereiro a 15,6 °C em agosto, com amplitude térmica anual de 12,2 °C; conforme a variabilidade das temperaturas máximas e

mínimas os municípios de Alto Parnaíba se apresentaram como os de maiores incidências da amplitude térmica; o município de menor incidência de amplitude térmica é Gilbués.

Implicações semelhantes foram observadas por Nogueira et al., (2012), a partir de um estudo relativo ao impacto do cultivo e expansão da soja, na região de Chapadinha (MA). Os autores observaram que a umidade e a temperatura do ar sofreram variação substancial na década pós-soja e ressaltaram a importância de mudanças ambientais na geração de circulações locais e transporte de vapor.



**Figura 11.** Ciclo anual da amplitude térmica média, amplitude térmica da média das máximas e amplitude térmica da média das mínimas, para a BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

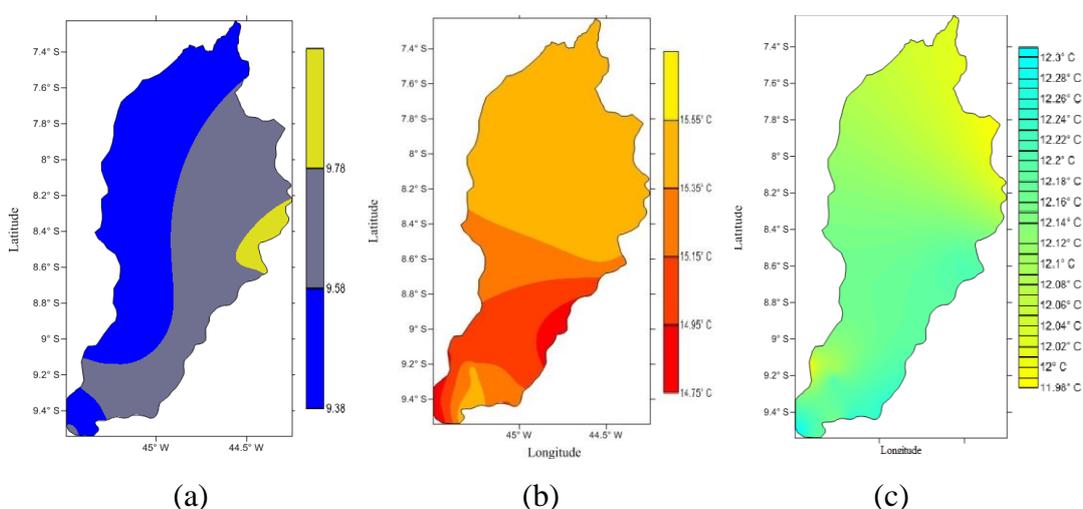
A Figura 12 (a, b, c) representa a amplitude térmica (a) do mês mais frio; (b) do mês mais quente; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e do seu entorno.

A Figura 12a 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.

A Figura 12b 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.

Na Figura 12c 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.

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.



**Figura 12.** Amplitude térmica espacial (a) do mês mais frio; (b) do mês mais quente; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto e do seu entorno. Período: 1960-1990.

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).

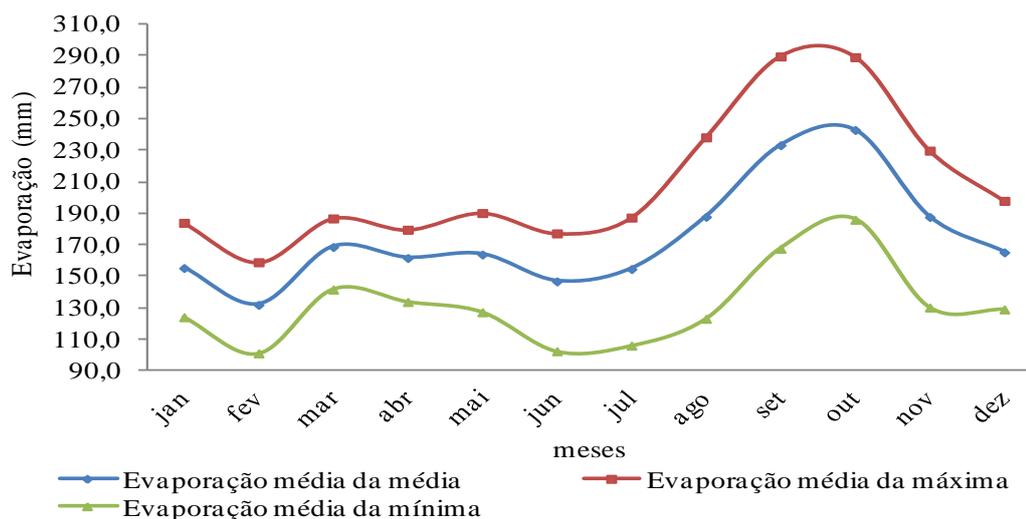
#### 4.2.2. EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os valores da evaporação estudados são representativos da média dos 25 postos pluviométricos e dos 24 postos localizados nas fazendas, trabalhando-se com o valor médio, valores máximos e mínimos, conforme a Figura 13.

Vê-se, na Figura 12 que a evaporação flui entre 95,0 mm no mês de fevereiro a 243,0 mm no mês de outubro entre o período de 1960-1990. Destaca-se, ainda, que a evaporação máxima oscila entre 159,0 a 287,9 mm; na evaporação mínima observaram-se flutuações de 101,1 mm a

186,0 mm. Comparando os índices evaporados com os precipitados nota-se que é um número significativo de água evaporado em relação aos índices precipitados, ou seja, os valores evapotranspirados são maiores que os precipitados.

Nos meses de agosto a outubro ocorrem os aumentos na evaporação em conformidade com a figura 13 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.



**Figura 13.** Evaporação média; evaporação média máxima e evaporação média mínima, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

A Figura 14 (a, b, c) representa a variabilidade da evaporação espacial (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

A Figura 14a 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.

Na Figura 14b, 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.

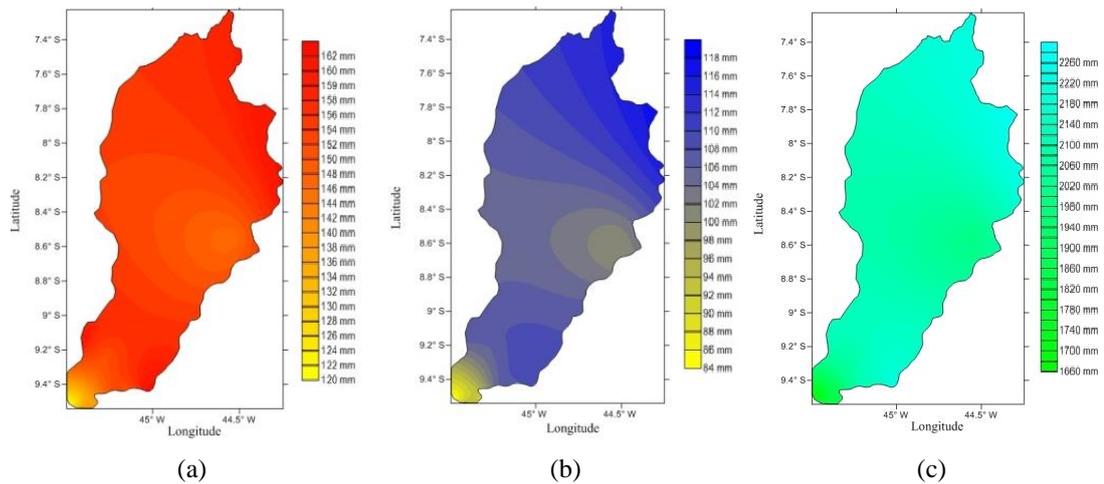


Figura 14. Variabilidade espacial da evaporação (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP e entorno: Período: 1960-1990.

A figura 14c, 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  $\text{mmano}^{-1}$ .

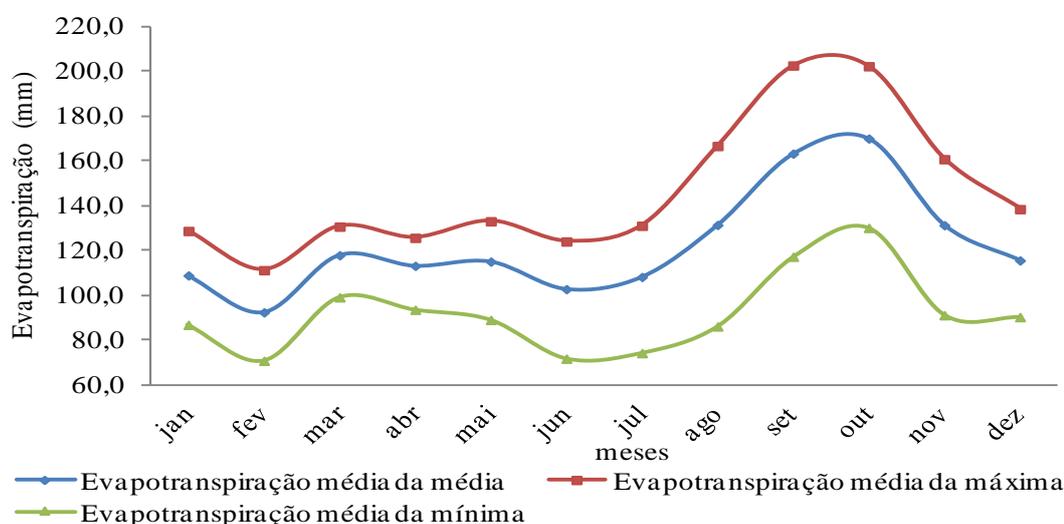
A oscilação da evapotranspiração (ETP) de referência média da área estudada ocorre entre 92,4 mm em fevereiro a 170,1 mm no mês de outubro. A ETP máxima oscila entre 111,3 a 202,8 mm; já a ETP mínima oscila entre 70,7 a 130,2 mm.

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 15.

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 15 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.



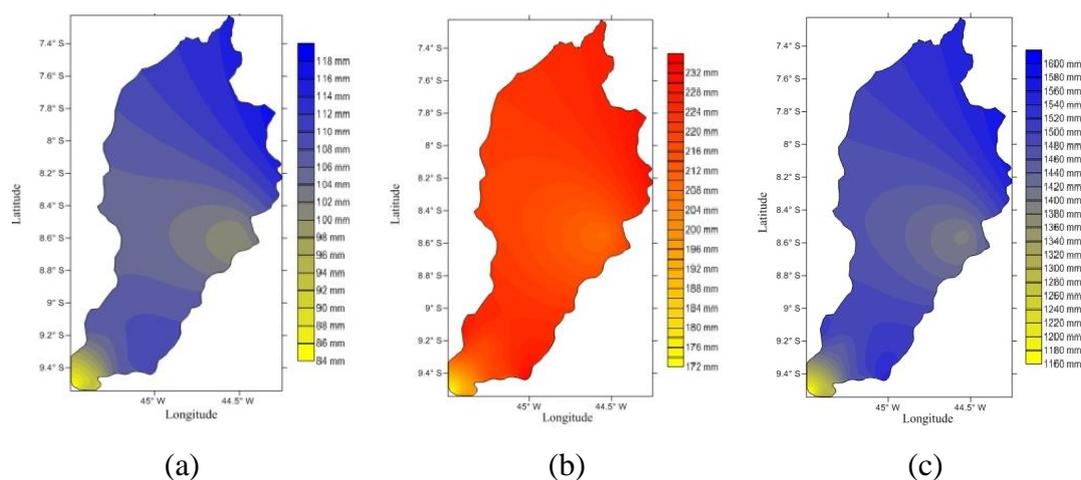
**Figura 15.** Evapotranspiração média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

A Figura 16 (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 16a 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.

Na Figura 16b se observa o 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 16c 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 16.** Variabilidade espacial da evapotranspiração: (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990.

#### 4.2.3. UMIDADE RELATIVA DO AR

A Figura 17 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 17.

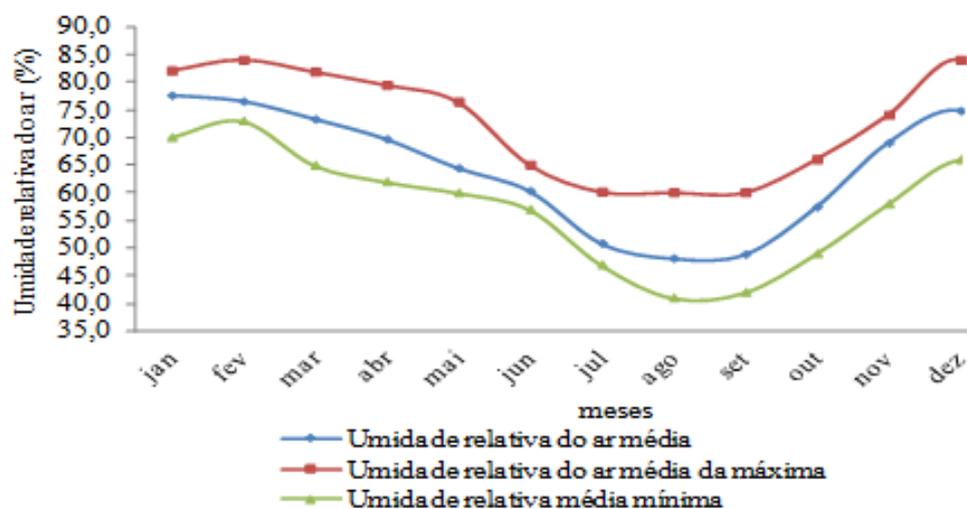
Pode ser observado na figura 17 que a umidade relativa mínima observam-se três picos de elevações centrados nos meses de fevereiro, junho e dezembro. No gráfico da umidade relativa máxima destacam-se os meses de julho a setembro com os menores valores de umidade relativa do ar.

Medeiros et al., em 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 Figura 18 (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.

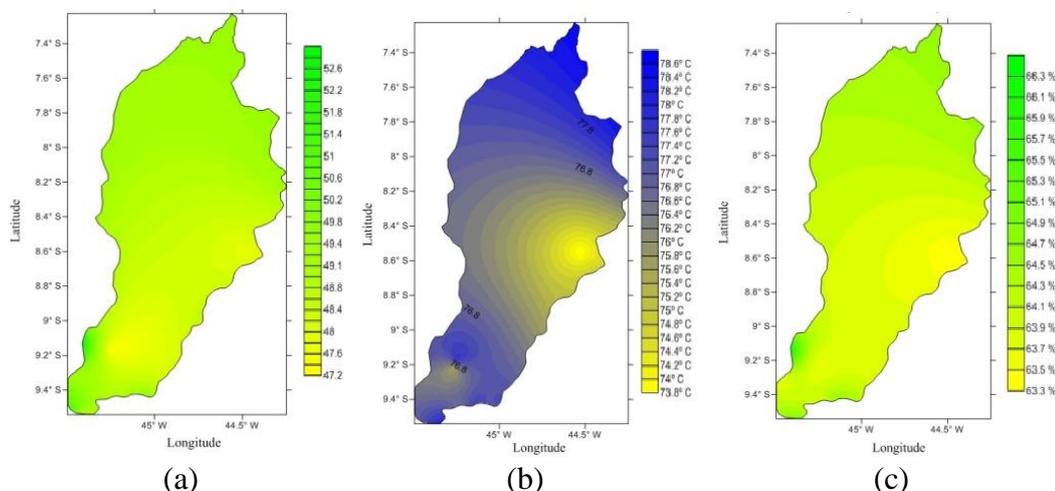


**Figura 17.** Ciclo anual da umidade relativa do ar média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

A variabilidade da umidade relativa do ar (UR) mínima (setembro) na área da BHRUP está representada na Figura 17a 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.

Na Figura 18b 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.

Na Figura 18c 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 18.** Variabilidade espacial da umidade relativa do ar (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI e entorno. Período: 1960-1990.

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.

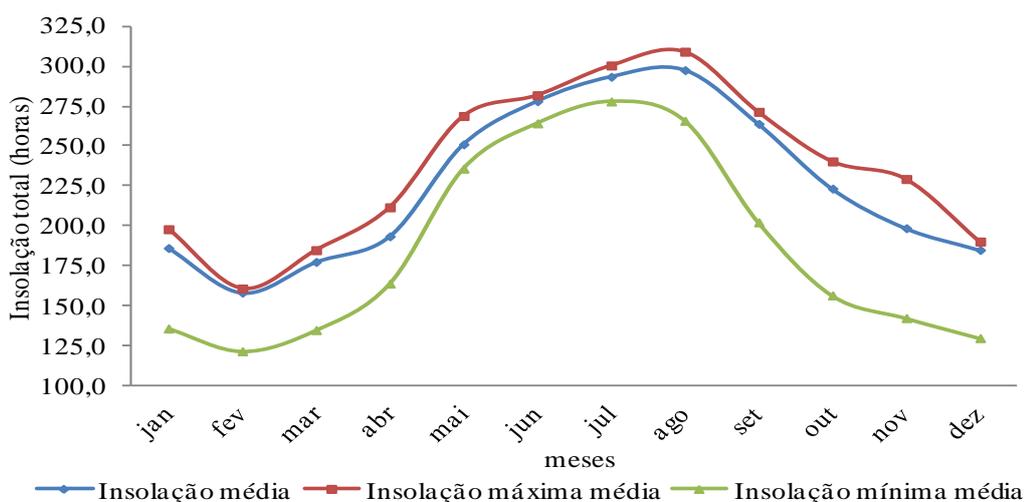
#### 4.2.4. INSOLAÇÃO TOTAL E NEBULOSIDADE

Os valores estudados da insolação total são representativos da média dos 25 municípios e 24 fazendas, em que se trabalhou com o valor médio, valores máximos e mínimos, conforme a Figura 19 no período de 1960-1990.

Na Figura 19 constata-se que a insolação total sofre redução a partir da segunda quinzena de outubro e se prolonga até a segunda quinzena do mês de abril, época em que está finalizando o período chuvoso.

Entre maio e a primeira quinzena de outubro as incidências dos raios solares são quase que diretamente a superfície, notando-se uma elevação significativa nos índices da insolação total; no mês de fevereiro ocorrem os menores índices de insolação e as curvas de máximos mínimos e médios seguem basicamente, os mesmo critérios de curvas.

Os aumentos registrados na insolação total entre os meses de junho a setembro decorrem da baixa intensidade do vento, baixa cobertura de nuvens; da incidência dos raios solares diretamente à superfície aquecendo o solo e a temperatura do ar. No mês de fevereiro a insolação máxima fluiu próxima à média por ser fevereiro um mês chuvoso e a atuação da La Niña que provocou chuvas acima da normalidade em anos isolados.

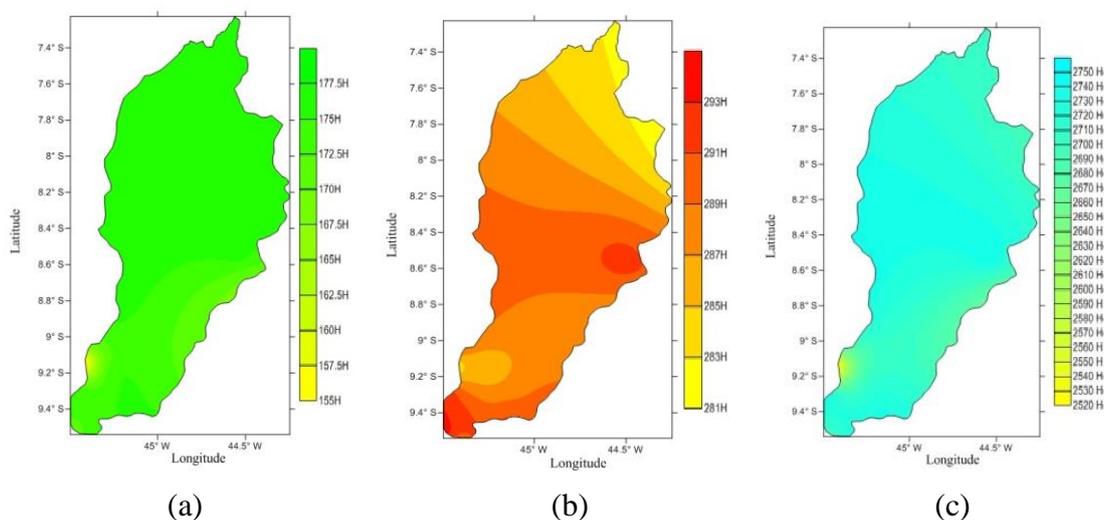


**Figura 19.** Ciclo anual da insolação total média das máximas; insolação total média das médias e insolação total média das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período:1960-1990.

A Figura 20 (a, b, c) representa a variabilidade espacial da insolação total (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

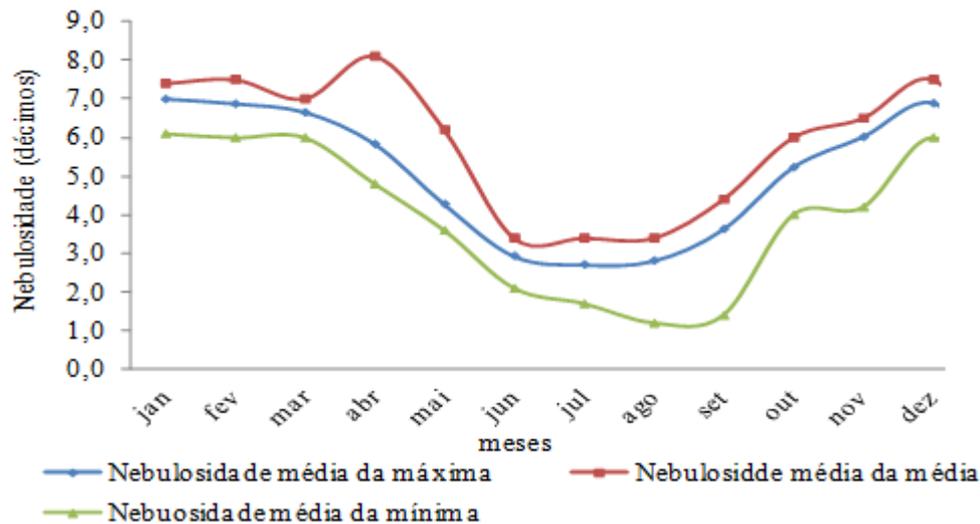
A Figura 20a observa-se o comportamento da insolação total mínima (fevereiro) na BHRUP onde sua variabilidade oscila entre 155 a 178 horas, com destaque para a pequena área ao sudoeste com 157 horas de insolação total. Na insolação total máxima (setembro). Figura 20b observa-se áreas de máximas insolações no extremo sul e a leste da região central, faixas de insolações moderadas no sul e na região central, faixa intermediária de insolações no setor sul e central e baixas insolações em área isolada da região sul e no norte e nordeste da região norte.

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 20c.



**Figura 20.** Variabilidade espacial da insolação total (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990.

Com relação à nebulosidade percebe-se na figura 21 decaimento nos meses de junho a setembro, com variações médias de 0,47 a 0,26 décimos de cobertura, enquanto nos meses de novembro a maio ela se mantém em elevação devido às ocorrências das chuvas do período chuvoso; esta elevação nos índices de nebulosidade se deve aos fatores provocadores da precipitação no estado, Figura 21.



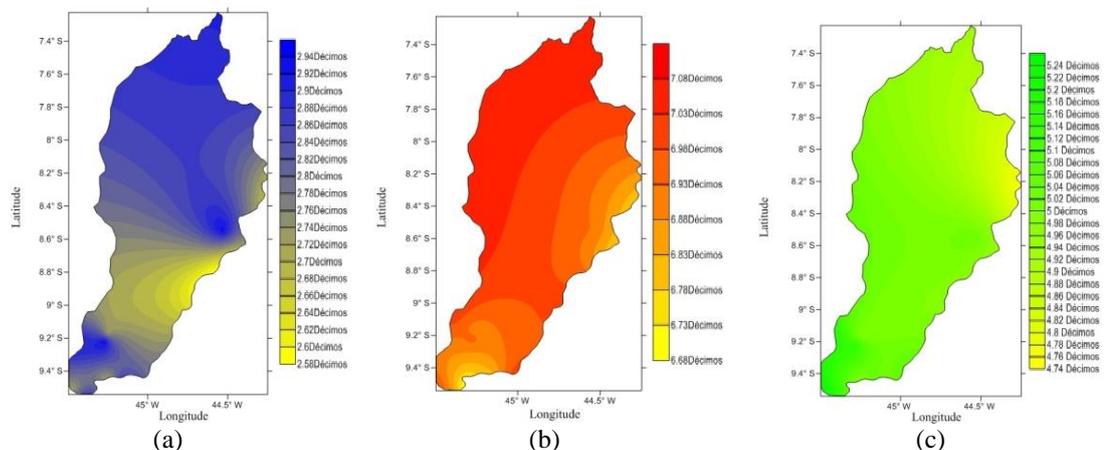
**Figura 21.** Ciclo anual da cobertura de nuvem média das máximas; média das médias e médias das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

A variabilidade da cobertura de nuvem tem influência da orografia, dos ventos e da quantidade de insolação incidente na superfície, o que representa a variabilidade de cobertura de nuvens baixas nos meses de junho a setembro, na área de estudo no mês de abril ocorreu uma anomalia provocada pelos sistemas locais, regionais e de larga escala atuante em anos isolados.

As Figuras 22 (a, b, c) representam a variabilidade espacial da cobertura de nuvens: (a) mínima; (b) máxima; (c) e anual, para a área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI.

A Figura 22a 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 flutuabilidade da cobertura de nuvem oscila entre 2,5 a 2,9 décimos.

Na Figura 22b 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 22.** Variabilidade espacial da cobertura de nuvens: (a) mínima; (b) máxima; (c) e anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990.

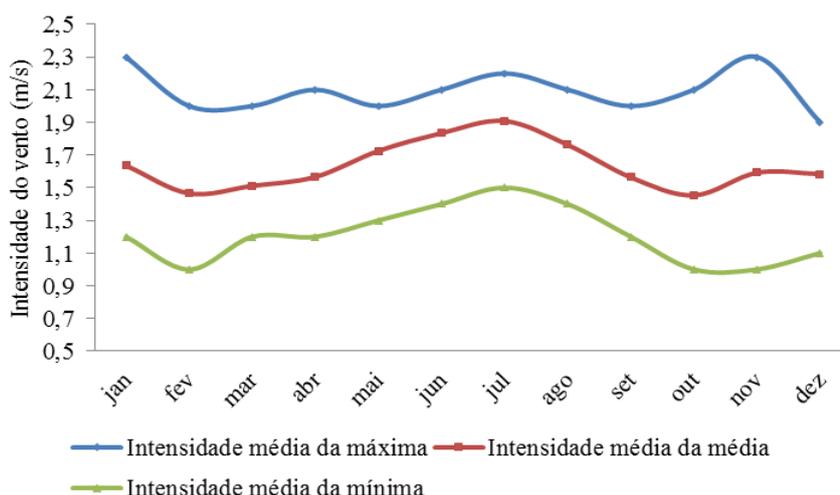
A Figura 22c expressa a variabilidade anual da cobertura de nuvem para a BHRUP, destacando-se um acréscimo gradativo no sentido nordeste-sudoeste; as maiores áreas com cobertura de nuvens se centram na região sudoeste e na área costeira da região oeste, oscilando de 4,9 a 5,3 décimos além de uma área de baixa cobertura de nuvens no setor nordeste, com oscilação entre 4,7 e 4,9 décimos de cobertura.

#### 4.2.5. DIREÇÃO PREDOMINANTE E INTENSIDADE DO VENTO

Segundo Assireu et al., (2013), o efeito de canalização do vento promovido por montanhas alinhadas a um vale, ocupado por grande reservatório hidrelétrico, é estudado a partir de modelagem numérica, de dados in situ de vento e do modelo digital de terreno. Os resultados indicam que, como o reservatório foi construído a partir do represamento de rios que fluem entre montanhas, a resultante inundação do respectivo vale resultou em canalização do vento.

As intensidades médias do vento para a área em estudo, oscilam entre 1,5 a 1,9  $\text{ms}^{-1}$ ; a variabilidade do vento máximo flui entre 2,0 a 2,5  $\text{ms}^{-1}$  e os ventos mínimos oscilam entre 0,8 a 1,4  $\text{ms}^{-1}$ , Figura 23.

Essas intensidades estão associadas ao posicionamento do centro de alta pressão na área referenciada principalmente afetando os meses de julho e novembro.



**Figura 23.** Ciclo anual da intensidade do vento média das máximas; intensidade do vento média das médias e intensidade do vento média das mínimas, para a área da BHRUP e entorno. Período: 1960-1990.

A Figura 24 (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 24a 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 24b; 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.

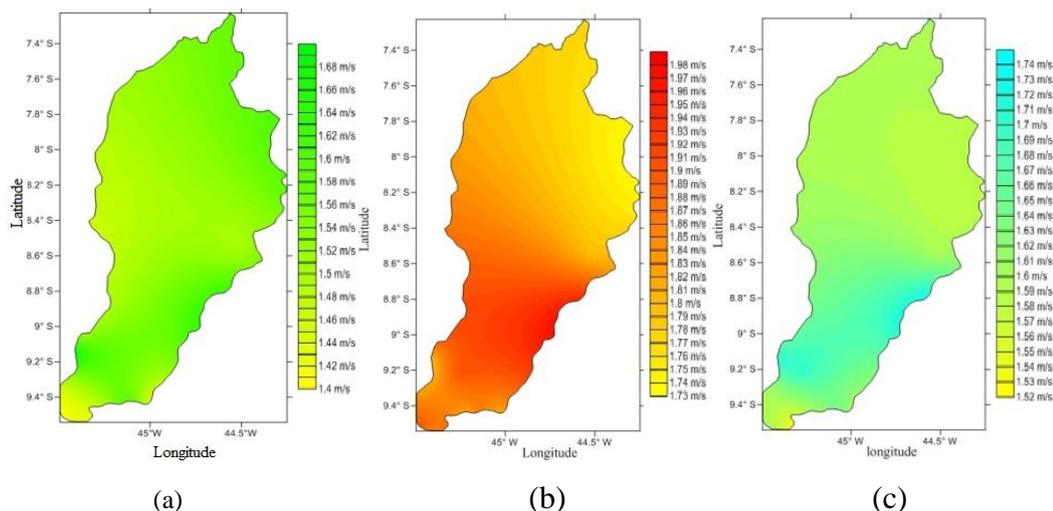


Figura 24. Variabilidade espacial da intensidade do vento (a) mínima; (b) máxima; (c) anual, para a área da BHRUP – PI e entorno. Período: 1960-1990.

A Figura 24c representa a intensidade do vento anual com os seguintes destaques: na área de pequena intensidade de vento no extremo sul e na parte central e norte da região sul se encontram as maiores intensidades, ventos moderados no setor norte da região central e em toda a área da região norte.

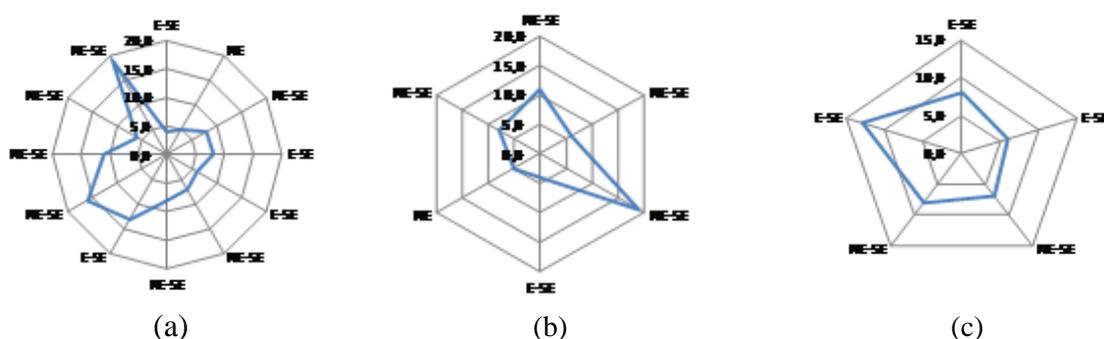
Fazendo um comparativo dos campos de temperatura máximas com as intensidades dos ventos observa-se que quanto mais quente maiores são as intensidades dos ventos.

Os resultados indicam, para os 49 locais que compõem o território da BHRUP, que a direção predominante do vento é de nordeste-sudeste, de maior frequência (Figura 25a), seguida das posições este-sudeste e nordeste, como as direções predominantes de segunda e terceira predominâncias.

No período chuvoso, Figura 25b, a maior ocorrência de frequência de entrada é na posição nordeste-sudeste com 19,0 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.

O período seco, Figura 25c 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.



**Figura 25.** (a) Direção média dos ventos predominante mensal e anual; (b) Direção média dos ventos predominante mensal e anual para o período chuvoso; (c) Direção média dos ventos predominante mensal e anual, para o período seco da BHRUP.

#### 4.2.6. VAZÃO OBSERVADA, VAZÃO ESTIMADA E PRECIPITAÇÃO PARA A ÁREA DA BHRUP

Os 49 locais apresentam baixa cobertura vegetal nativa cuja maioria da área é classificada como cerrado e cerradão, ou seja, são áreas alteradas pelas atividades humanas, com descaracterização pela pecuária, agricultura e solos expostos pelo desmatamento, queimadas, mineração e erosão, sendo a vegetação formada de extrato arbustivo espaçado; a maior parte do antropismo se concentra na margem da bacia hidrográfica.

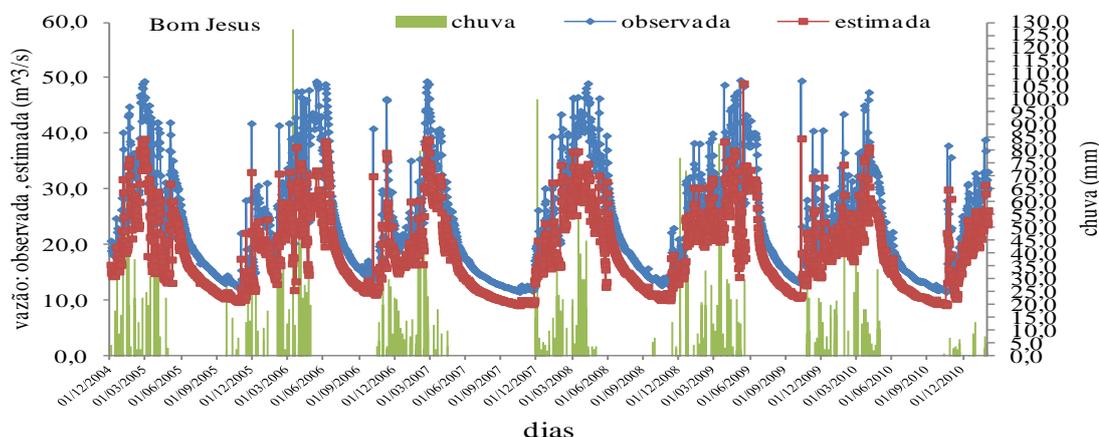
Apesar da intensidade das atividades verificadas nos trabalhos de campo (CHESF) a somatória das variáveis analisadas no conjunto ambiental, não apresentaria resultados alarmantes de qualidade ambiental, caso se levasse em conta uma análise aprofundada dos setores hidrográficos do ponto de vista do alto, médio e baixo curso água, certamente apresentaria valores diferentes aos da proximidade das sedes municipais, com forte indicador da pressão humana sobre o meio, apontando pontos críticos do sistema natural como produto homem-meio.

A Figura 25 representa a precipitação observada, a vazão observada e a vazão estimada para o município de Bom Jesus, localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Observa-se que a vazão estimada segue o padrão da observada, porém ela subestima os valores de pico; este é um comportamento previsto para qualquer estimativa, seja teórica e/ou usando os modelos chuva/vazão.

As chuvas seguem o ritmo das vazões observadas e estimadas com pequenas defasagens para seus picos de máximo, ao passo que nos picos de mínimo são observados menores períodos de não ocorrências de chuvas.

Com relação à precipitação observada, a vazão estimada está bem ajustada, não havendo qualquer discrepância entre os padrões.

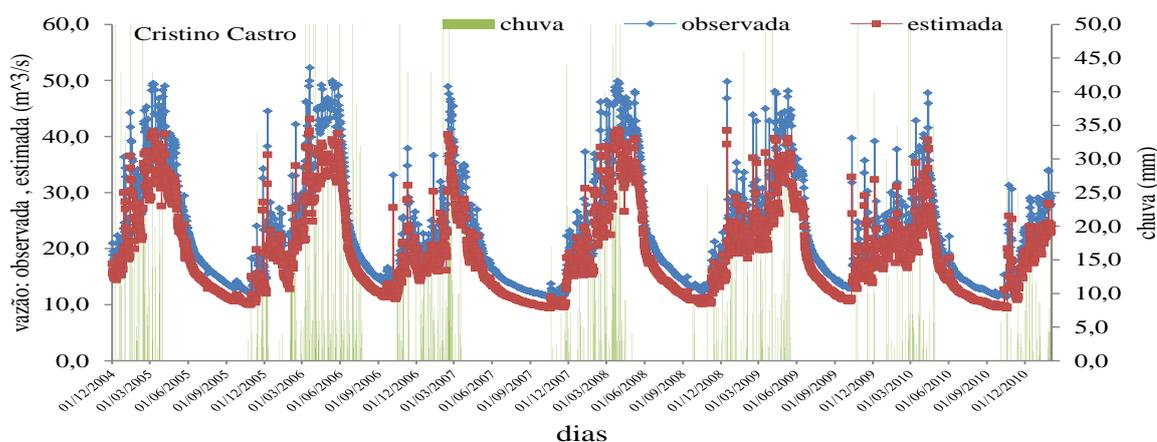


**Figura 26.** Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Bom Jesus, localizado na área de entorno da BHRUP.

A Figura 27 representa a precipitação observada, a vazão observada e a vazão estimada para o município de Cristino Castro, localizado no entorno da área da bacia do rio Uruçuí Preto.

As chuvas ocorridas acompanham o ritmo das vazões dos estudos com pequenas defasagens para seus picos de máximo ao passo que nos picos de mínimo as referidas vazões não sofrem influência das chuvas por ter longos período de estiagem.

Quanto à precipitação observada, a vazão estimada tem um ajuste adequado não havendo qualquer discrepância entre seus padrões.



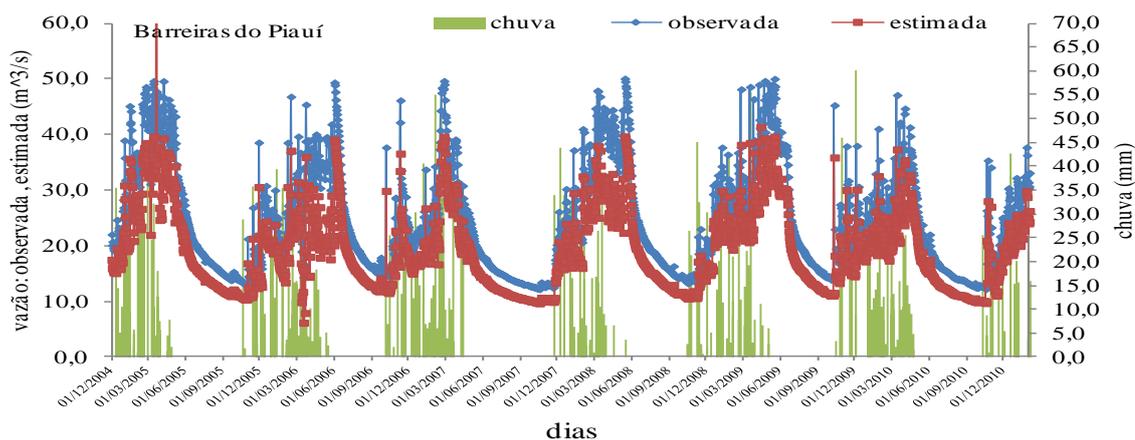
**Figura 27.** Vazão Observada, vazão estimada e precipitação, para o município de Cristino Castro, localizado na área de entorno da BHRUP.

A Figura 28 demonstra a precipitação observada, as vazões observadas e as estimadas para o município de Barreiras do Piauí, da área em estudo.

A vazão estimada acompanha o padrão da vazão observada, sendo subestimadas pelos valores de pico.

Os índices pluviométricos acompanham o ritmo das vazões dos estudos com pequenas oscilações para os picos de máximo ao passo que nos picos de mínimo as referidas vazões não sofrem influencia das chuvas.

Em referência à precipitação observada, a vazão estimada tem um adequado ajuste não havendo qualquer discrepância entre seus padrões.



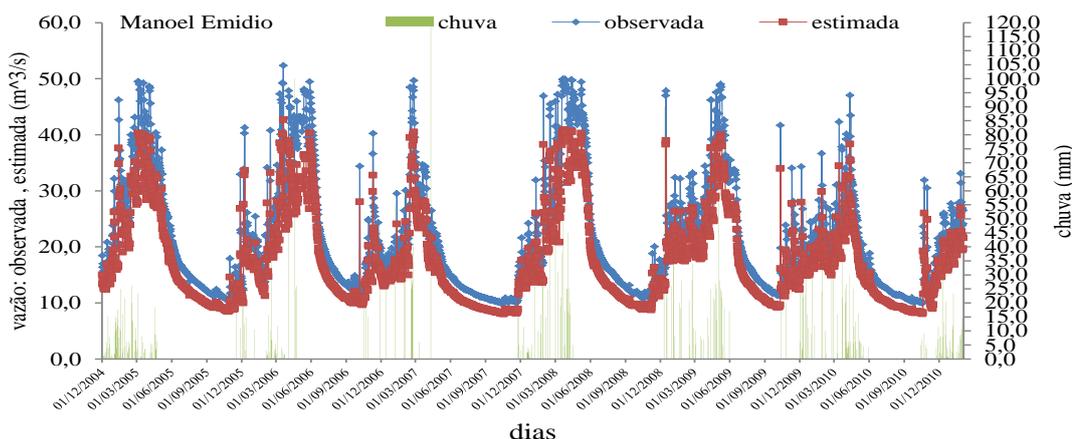
**Figura 28.** Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Barreiras do Piauí, localizado na área de entorno da BHRUP.

A Figura 29 representa a precipitação observada, a vazão observada e a vazão estimada para o município de Manoel Emidio localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Observa-se que a vazão estimada segue o padrão da observada, porém subestima os valores de pico. Este é um comportamento esperado para qualquer estimativa, seja teórica e/ou usando os modelos chuva/vazão.

As chuvas seguem o ritmo das vazões observadas e estimadas com pequenas defasagens para seus picos de máximo ao passo que nos picos de mínimo as referidas vazões não sofrem influência das chuvas.

Com relação à precipitação observada, a vazão estimada está bem ajustada, não havendo qualquer discrepância entre os padrões.



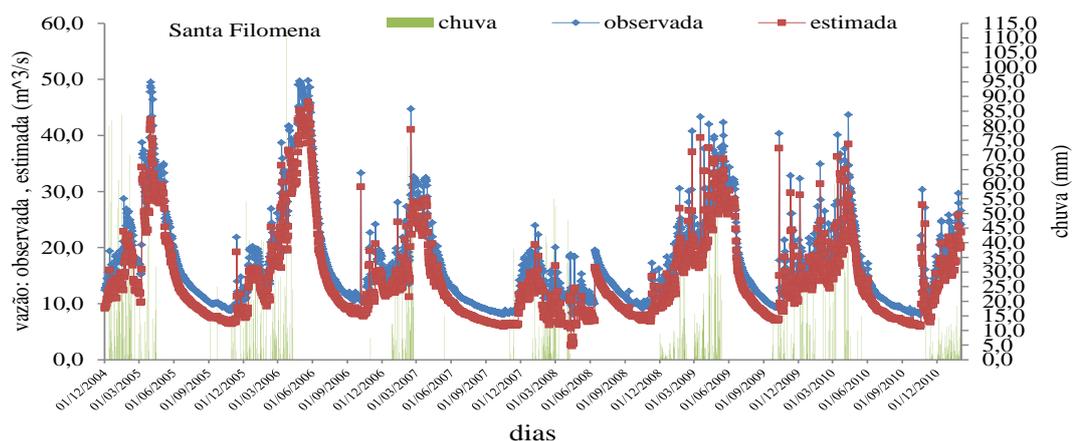
**Figura 29.** Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Manoel Emidio, localizado na área de entorno da BHRUP.

A Figura 30 demonstra a precipitação observada, as vazões observadas e as estimadas para o município de Santa Filomena, da área de entorno em estudo.

A vazão estimada segue o padrão da vazão observada, subestimadas pelos valores de pico. Este é um comportamento previsto em qualquer estimativa teórica e para os modelos chuva/vazão.

Os índices pluviométricos acompanham o ritmo das vazões dos estudos com pequenas oscilações para os picos de máximo ao passo que nos picos de mínimo as referidas vazões não sofrem influência das chuvas por ter longos períodos sem ocorrência de chuvas.

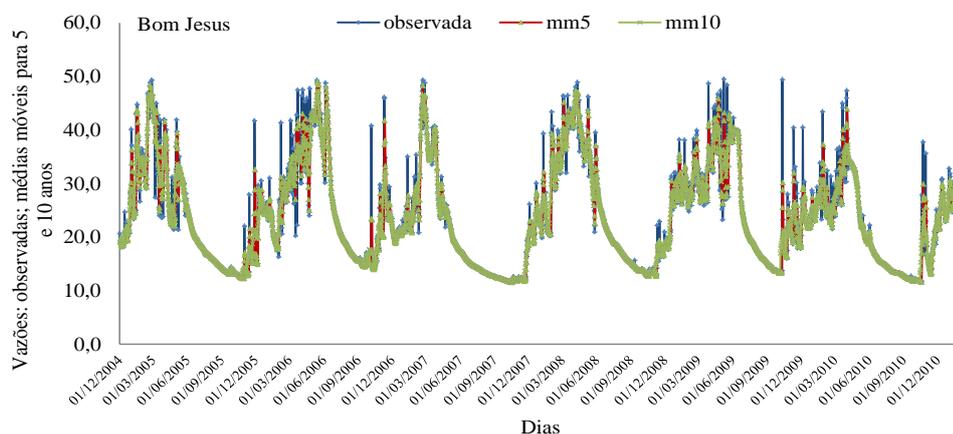
Quanto à precipitação observada, a vazão estimada apresenta ajuste adequado não havendo discrepância entre seus padrões.



**Figura 30.** Vazão observada, vazão estimada e precipitação para o município de Santa Filomena, localizado na área de entorno da BHRUP.

#### 4.2.7. VAZÃO OBSERVADA E VAZÃO ESTIMADA PELO MÉTODO DA MÉDIA MÓVEL, PARA 5 E 10 ANOS PARA A ÁREA DA BHRUP

A Figura 31 representa a vazão observada e suas vazões estimadas pelas médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Bom Jesus localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

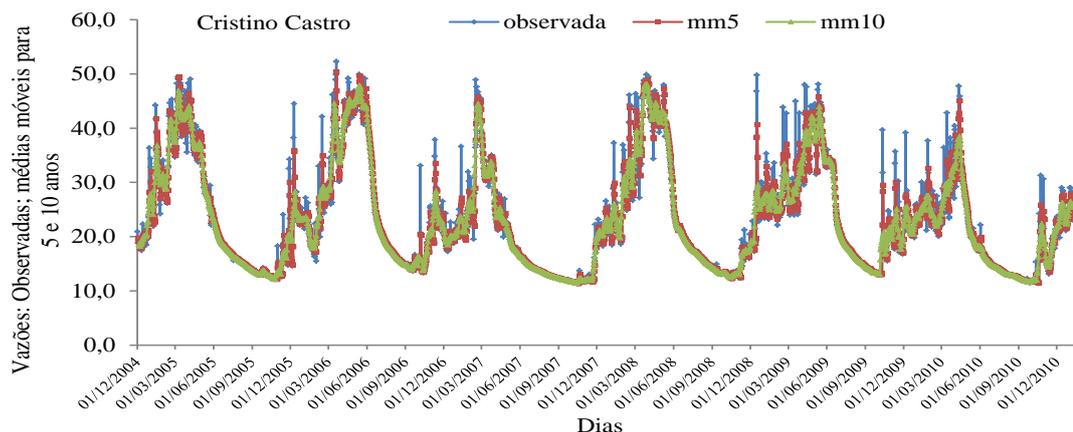


**Figura 31.** Vazões: observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Bom Jesus, localizado na área de entorno da BHRUP.

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 anos) segue o ritmo das vazões observadas com defasagens nos seus picos.

A Figura 32 representa a vazão observada e suas vazões estimadas pelas médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Cristino Castro localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

A análise dessa simulação segue os mesmos critérios da análise anterior, destacando-se menores defasagens em relação aos picos de vazões.

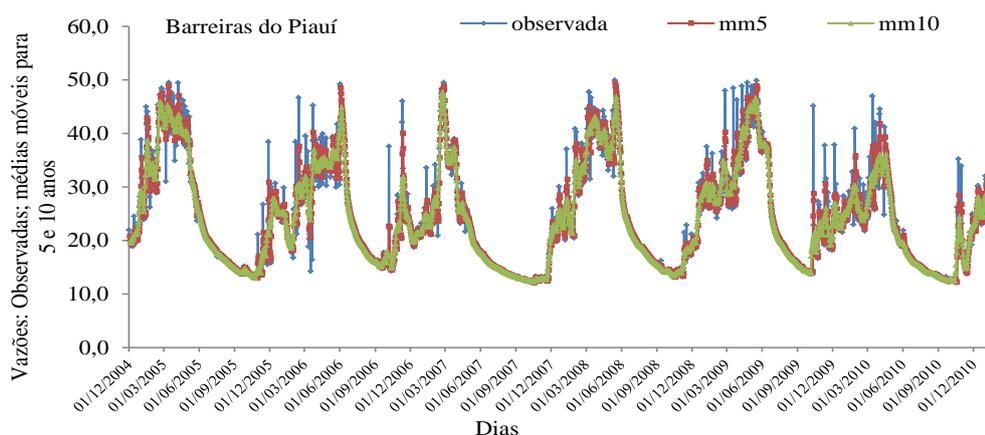


**Figura 32.** Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Cristino Castro, localizado no entorno da área da BHRUP.

A Figura 33, de conformidade com a análise da figura 32 segue os mesmos critérios, demonstrando que para o modelo das médias-móveis esses valores podem ser utilizados em operações rotineiras diárias com relevância nas ocorrências dos picos de máximos.

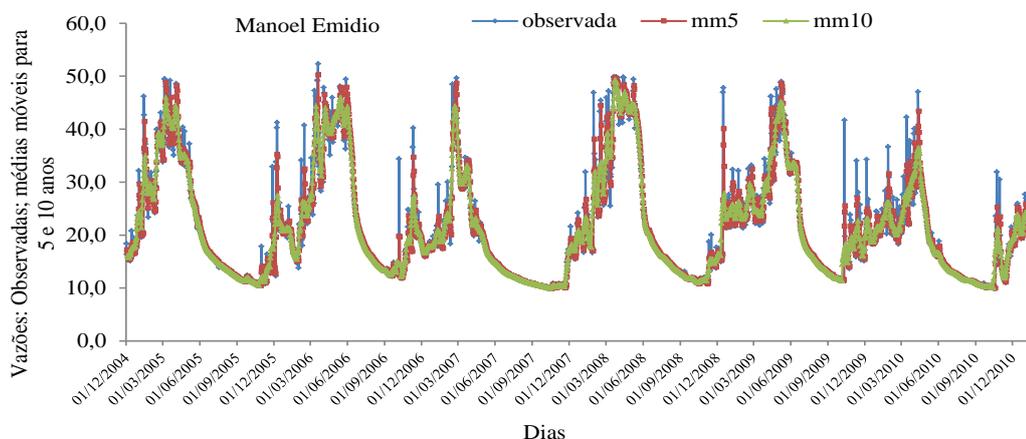
A Figura 33 representa a vazão observada e suas vazões estimadas pelas médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Barreiras do Piauí, localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Em Barreiras do Piauí observa-se que o comportamento da vazão observada das estimativas de vazões pela média móvel para 5 e 10 anos, segue o ritmo das vazões observadas com pequenas defasagens nos seus picos de máximo por sofrerem influência das chuvas locais ocorridas; para a média móvel de 5 anos esses valores têm maiores significâncias do que para os 10 anos.



**Figura 33.** Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Barreiras do Piauí, localizado no entorno da área da BHRUP.

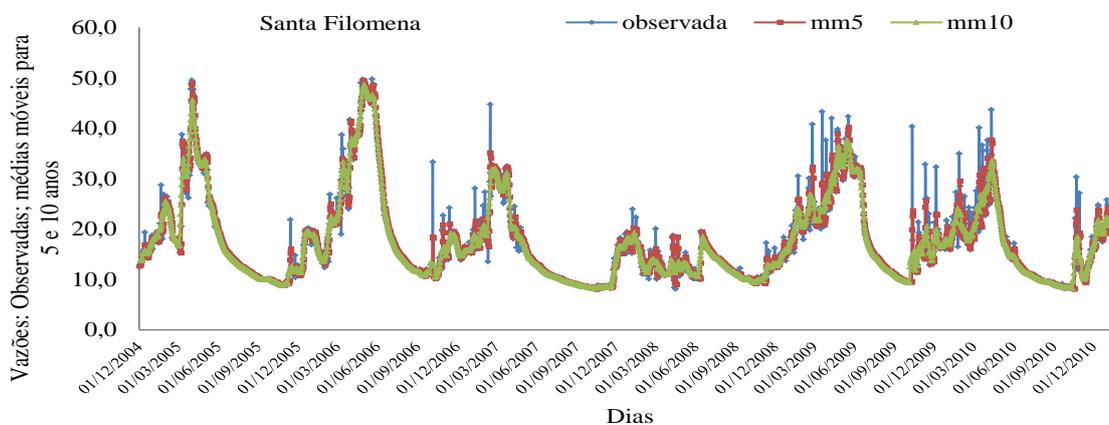
A Figura 34 representa a vazão observada e suas vazões estimadas pelas médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emidio, localizado no entorno da área da BHRUP.



**Figura 34.** Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Manoel Emidio, localizado no entorno da área da BHRUP.

A análise se repete para os municípios de Manoel Emidio e Santa Filomena

A Figura 35 representa a vazão observada e estimada e suas vazões estimadas pelas médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Santa Filomena, localizado no entorno da área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.



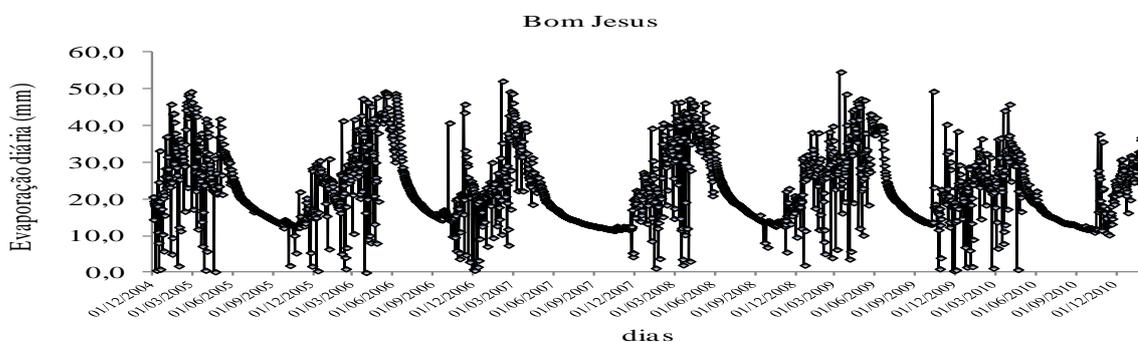
**Figura 35.** Vazões: Observadas, médias móveis para 5 e 10 anos para o município de Santa Filomena, localizado no entorno da área da BHRUP.

#### 4.2.8. CÁLCULO DA EVAPORAÇÃO PARA A ÁREA DA BHRUP

Notam-se fortes discrepâncias entre os valores evapotranspirados principalmente na representação dos picos observados. Ressalte-se que o comportamento da evaporação segue o ritmo das vazões observadas com defasagens nos seus picos quando das ocorrências de longo período sem registros de chuvas.

Em relação à precipitação observada à evaporação tem ajuste adequado não havendo qualquer discrepância entre seus padrões; esta discrepância pode indicar ausência densa de vegetação na área da bacia fazendo com que a evaporação predomine.

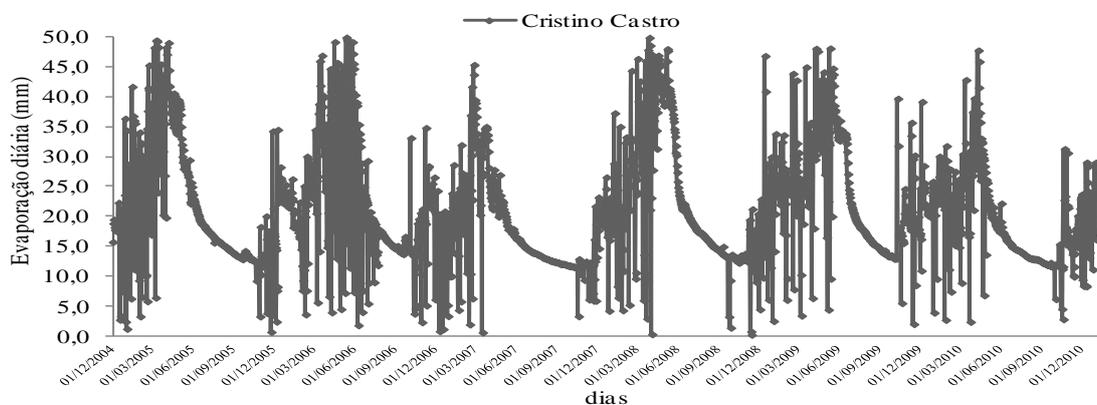
A Figura 36 representa a variabilidade da evaporação para o município de Bom Jesus.



**Figura 36.** Evaporação calculada para o município de Bom Jesus, localizado no entorno da área da BHRUP.

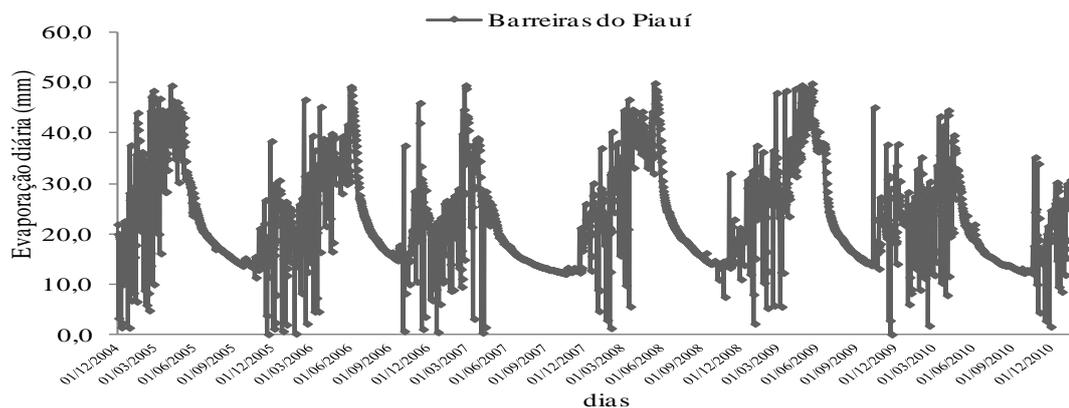
A Figura 37 representa o cálculo da evaporação do município de Cristino Castro, localizado na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

A análise é basicamente igual o comportamento de Bom Jesus.



**Figura 37.** Evaporação calculada para o município de Cristino Castro, localizado no entorno da área da BHRUP.

A Figura 38 representa o cálculo da evaporação do município de Barreiras do Piauí, localizado na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

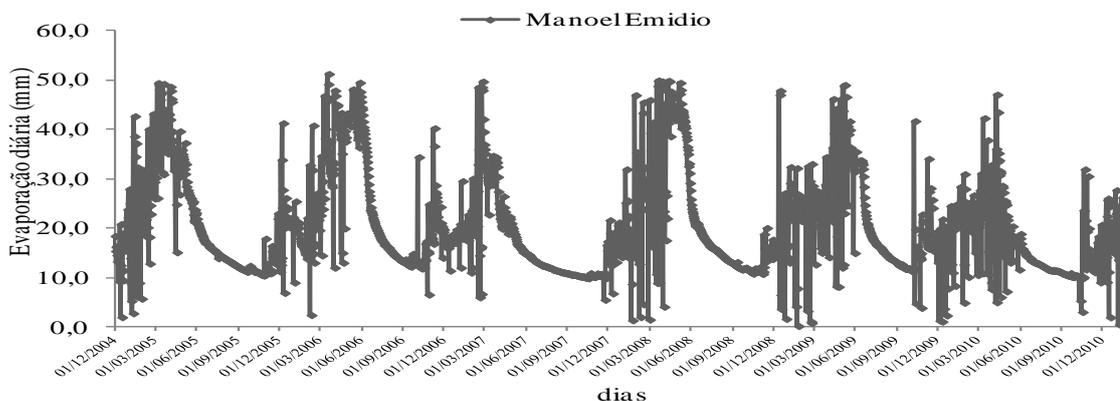


**Figura 38.** Evaporação calculada para o município de Barreiras do Piauí, localizado no entorno da área da BHRUP.

A evaporação segue o ritmo das chuvas e das vazões observadas e estimadas com pequenas defasagens para seus picos de máximo das chuvas, ao passo que nos picos de mínimo a referida evaporação não sofre influência das chuvas.

A Figura 39 representa o cálculo da evaporação do município de Manoel Emidio, localizado na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

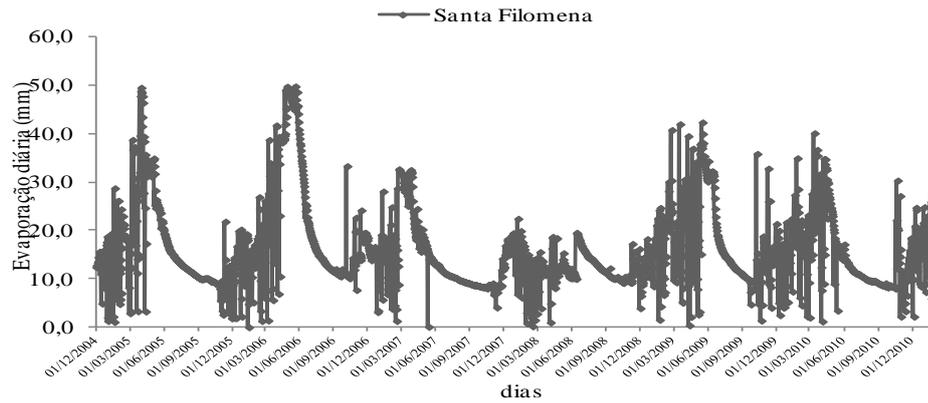
A evaporação apresentou ritmo diferenciado para o comportamento das chuvas principalmente na metade dos dias em estudo (lado direito da Figura) observando-se maior oscilação deste parâmetro, o que deve ter sido favorecido pelas maiores incidências das chuvas nesta área.



**Figura 39.** Evaporação calculada para o município de Manoel Emidio, localizado no entorno da área da BHRUP.

A Figura 40 representa o cálculo da evaporação do município de Santa Filomena, localizado na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto.

Como na figura anterior a evaporação apresentou comportamento diferenciado em todo o seu período, com uma representatividade melhor no lado direito da figura na qual as características das chuvas foram de boa significância.



**Figura 40.** Evaporação calculada para o município de Santa Filomena, localizado no entorno da área da BHRUP.

A evaporação para os municípios de Bom Jesus; Cristino Castro; Barreiras do Piauí; Manoel Emidio e Santa Filomena que fazem parte do entorno da BHRUP tem seus altos valores evaporativos quando 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.

## CAPITULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com a classificação de Köppen, se distinguem 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, como pode ser visto na tabela 3, estando de conformidade com as classificações do IBGE, CPRM, Camargo (1961) e Alvares et al. (2014);

Deduz-se, com base no exposto que a principal característica das séries mensais pluviiais no Sul do Piauí é a elevada variabilidade temporal de seus valores que mostram a participação de eventos de diferentes escalas (espaço e tempo) que interagem entre si. Ocorrem indicações marcantes de mudanças de ordem climática nos regimes pluviiais das localidades do estudo. A complexidade das interações impede uma relação factual de causa e efeito, mas aponta para a necessidade de levar em conta aos diversos fatores envolvidos;

Este aumento está associado às condições termodinâmicas do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul que, inibindo a formação de nuvens, favorece um aumento no fluxo radiativo de ondas curtas e aumento no fluxo do saldo de radiação potencializando, assim, doenças à população que, por meio de aquecendo da Camada Limite Atmosférica, implicará em pré-disposição desta área á proliferação de vetores;

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;

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

A variabilidade da cobertura de nuvem está relacionada à época dos períodos chuvosos e secos, tendo influência da orografia, dos ventos e da quantidade de insolação incidente na superfície, o que representa a variabilidade de cobertura de nuvens baixas nos meses de junho a setembro, na área de estudo;

As variabilidades na intensidade do vento ocorrem entre 1,5 a 1,9 ms<sup>-1</sup> durante todo o ano: essas intensidades estão associadas ao posicionamento do centro de alta pressão na área referenciada;

Com relação aos municípios, observar-se que nas épocas chuvosas (novembro a março) e secas (junho a outubro), a relação na direção e na velocidade do vento é superior a 0,7 demonstrando uma forte variabilidade entre os municípios;

Verificou-se e se tomou como base, o relevo, principalmente nos limites interestaduais, e nos municípios nos quais suas cotas altimétricas são elevadas, tal como também os locais que têm depressões bruscas e cujas direções do vento podem ser relativamente desviadas da sua direção padrão, devido aos referidos obstáculos;

Os meses de maiores insolações ocorrem entre maio a outubro com flutuações variando de 223,0 a 297,1 horas e décimos; essas insolações elevadas estão correlacionadas com a baixa cobertura de nuvens e com os fatores meteorológicos transientes da área de estudo;

A BHRUP apresentou significativa heterogeneidade climática, possibilitando gerar cenários variados em relação à disponibilidade e demanda hídrica. O fator clima atuou dinamicamente em conjunto 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 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;

A amplitude térmica está relacionada com as oscilações das temperaturas máximas e mínimas; seus valores oscilam de 9,1 °C no mês de setembro a 15,6 °C no mês de agosto, esta variabilidade de amplitude térmica é excelente para alguma variação de plantas e péssima para o ser humano, provocando doenças;

Em virtude da variabilidade espacial e temporal da precipitação, o uso da isoietia média anual não é um critério adequado para estudos de regionalização climática;

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;

Colaborar para uma otimização das atividades agropecuárias e outros aproveitamentos hídricos que exigem indenificação 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, deve ser avaliadas e sugeridas;

Os grandes produtores estão se conscientizando quanto à formulação de áreas de reservas mais intensas e que proporcione as terras barramentos da erosibilidade e cuidam das fontes de água e protegem os leitos dos rios;

O sistema de escolaridade e saúde vem melhorando significativamente, com melhores escolas e postos de saúde mais adequados à realidade da comunidade;

O desmatamento, a urbanização, os sistemas de esgoto, as queimadas, a expansão da indústria e a mecanização na agricultura, constituem os principais fatores de influência sobre a qualidade e quantidade de água na região. O uso racional da água e sua alocação adequada, é princípio básico para garantir a disponibilidade hídrica atual e para as próximas gerações;

Os agravamentos das condições físicas e socioeconômicas da Bacia são históricos, por falta de coordenação nas atuações institucionais e as desarticulações governamentais até um passado recente, em nível federal, estadual e municipal;

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 àquelas 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.

## **OS TEMAS A SEGUIR SÃO SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:**

- Estudo mais detalhado dos sistemas atmosféricos que atuam na região no período de transição entre as épocas seca e chuvosa e uma análise mais detalhada do ciclo diário;

- Separar casos específicos associados à ocorrência de sistemas atmosféricos (por exemplo, LI, VCAN, SF) e analisar os perfis do vento no período de influência, utilizando a técnica ACP. Verificar o comportamento das distribuições estatísticas;
- A partir do reconhecimento de áreas com chuvas fortes identificadas pelas imagens de satélites e dos sistemas de alertas na caracterização da Bacia Hidrográfica e identificação da margem de risco de possíveis alagamentos, é aconselhável alertar a Defesa Civil e Corpo de Bombeiros em tempo hábil, para que medidas mitigatórias possam ser tomadas evitando-se deste modo, o desastre de grandes proporções;
- Aprofundar estudos de variabilidade climática de longo prazo, tanto diagnósticos quanto de modelagem e seu impacto na agricultura, pecuária, hidroenergéticas etc, uma vez que mudanças nos regimes de precipitação podem originar perdas econômicas para a sociedade;
- Que ocorra melhoria das condições socioambientais e socioeconômicas das suas populações, tal como a melhoria da oferta hídrica, nos aspectos quantitativos e nos qualitativos na área estudada;
- Promover a articulação intersetorial e interinstitucional para que ocorram convergência e coordenação entre as políticas e Planos Setoriais e a Política Nacional de Recursos Hídricos, para a realização de um plano de revitalização que disponha de um conjunto de elementos que possam fundamentar ações e intervenções de toda ordem, em prol da sua sustentabilidade, do zoneamento e monitoramento de cheias e da cobertura vegetal, entre outras ferramentas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A. Probabilidade de ocorrência de chuva no Sudeste da Bahia. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. **Boletim Técnico**, n.182, p.32, 2001.
- ALMEIDA, H. A. Oscilações decadal e sazonal das temperaturas do ar no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.6, n.5, p.1100-1114, 2013.
- ALMEIDA, H. A.; OLIVEIRA, G. C. S. Potencial para a captação de água de chuvas em Catolé de Casinhas, PE. In: Simpósio de Captação de água de chuvas no semiárido, 7, Caruaru, PE. **Anais...**, Caruaru: CDROM, 2009.
- 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: CDROM, 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: CDROM, 2004.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2014. (published online January 2014) Open Access Article.
- ALVES, A. D.; CASTRO, P. T. Desempenho de um sistema de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico, sob diferentes condições de velocidade de vento na região de Paracatu, CE, Brasil. **Engenharia Rural**, Piracicaba, SP, v.6, n.2, p.79-84, 1995.
- ALVES, J. M. B. Um vórtice ciclônico de Altos níveis sobre o Nordeste do Brasil e Atlântico Adjacente no verão de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n.1, p.115-122, 2001.
- ALVES, J. M. B.; SOUZA, B. E. A. **A relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e a distribuição interanual da precipitação no estado do Ceará**. Notas técnicas, Monitor Climático, v.11, n.127, 1997.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das Chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, 2002, Foz do Iguaçu - PR. Anais...: Foz do Iguaçu - PR: SBMET**, p.1403-410. 2002.
- ANDRADE, F. S. Variabilidade da precipitação pluviométrica de um município do estado do Pará. **Revista de Engenharia Ambiental**, v.8, n.4, p.138-145, 2011.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Tropical Pacific and south Atlantic effects on rainfall variability over northeast Brazil. **International journal of climatology**, v.26, p.1895-1912, 2006.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade da precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de meteorologia**, v.19, n.3, p.337-344, 2004.
- APPM - Associação Municipal dos Prefeitos Piauiense. 2011.

ARAGÃO, J. A. R. **Fatos sobre tendência do El Niño e sua relação com as secas no NEB.** Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET. v.14, n1, p.2-8, 1990.

ARAGÃO, J. O. R. A General Circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño, **NCART/CT – 100**, p.144, 1986.

ARAGÃO, J. O. R. **Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil.** (INPE-789-TPT/017). Dissertação Mestrado em Meteorologia, 1975.

ARAUJO, K. D. Variabilidade temporal das condições climáticas sobre as perdas de CO<sub>2</sub> na encosta do açude Namorados, em São João do Cariri-PB. p.101. **Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e Água)** – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

ARAÚJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)** – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 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 de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Campina Grande – PB, 2009.

ASSIREU, A. T.; PELLEGRINI, C. C.; PIMENTA, FELIPE M. Intensidade do vento devido a influencia do relevo: Evidencias a partir de modelos numéricos e medidas IN SITU. **Revista Ciências e natura**, p.060-062, 2013.

ASSIS, J. P. Modelo estocástico para estimação da produtividade potencial de milho em Piracicaba-SP. 2004. 192 f. **Tese (Doutorado em Agronomia)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 13ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BARBIERI, L. F. P.; CORREIA, M. F.; BRAGA, C. C.; GONÇALVES, W. A.; MOURA, M. S. B. Desempenho de Método de Estimativa da Temperatura Média Diária: Um Estudo em Áreas com Forte Pressão Antrópica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, p.857-874, 2013.

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.

BARBOSA, S. E. S.; BARBOS JÚNIOR, A. R.; SILVA, G.; QUEIROZ; CMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V. C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do rio Carmo, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas convectivos de mesoescala e precipitação intensa no semiárido brasileiro. **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia.** CDROM.2004.

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Simulated precipitation response to SST forcing and potential predictability in the region of the south Atlantic convergence zone. **Climate Dynamics**, v. 24, p.105-114, 2005.

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the south Atlantic convergence zone simulated by an atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v.15, p.745-763, 2002.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Boletim agrometeorológico do ano de 2004 para o município de Teresina, PI. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004.

BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. FERTBIO, 26, Lages. **Anais...** Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CDROM. 2004.

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.

BERNSTEIN, L.; BOSCH, P.; CANZIANI, O.; CHEN, Z.; CHRIST, R.; DAVIDSON, O.; HARE, W.; HUQ, S.; KAROLY, D.; KATTSOV, V.; LIU, J.; LOHMANN, U.; MANNING, M.; MATSUNO, T.; MENNE, B.; METZ, B.; MIRZA, M.; NICHOLLS, N.; NURSE, L.; PACHAURI, R.; PALUTIKOF, J.; PARRY, M.; QIN, D.; RAVINDRANATH, N.; REISINGER, A.; REN, J.; RIAHI, K.; ROSENZWEIG, C.; RUSTICUCCI, M.; SCHNEIDER, S.; SAKONA, Y.; SOLOMON, S.; STOUFFER, R.; SUGIYAMA, T.; SWART, R.; TIRPAK, D.; VOGEL, C.; YOHE, G. **Climate change 2007: synthesis report (IPCC 4th Assessment Report)**, 2007.

BERTONIE, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, E. C. M. **Hidrologia: Ciências e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, p.177-241, 2007.

BESKOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. M. Modelagem das perdas de BIASUTTI, M. Forced Sahel rainfall trends in the CMIP5 archive. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.118, p.1–11, 2013.

BJERKNES, J. Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v.97, p.163-172, 1969.

BLEY JR., C. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. **Ciência Hoje**. v.25, n.148, p.24-29, 1999.

BOLETIM CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v.18, n.10. <http://climanalise.cptec.inpe.br>. Outubro/2003.

BOLETIM CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Cachoeira Paulista: Centro de Previsão e Estudos Climáticos/INPE, v.22, n.3, 2007.

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.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M Time series analysis, forecasting and control. **San Francisco Holdem-Day**. p.553, 1970

BRAVO, J. M.; ALLASIA, D, G.; COLLISCHONN, W.; TASSA, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo (SP). **Anais...** In CDROM. Porto Alegre (RS): Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2007.

BRUN, G. W.; TUCCI, C. M. M. Previsão em Tempo Real do Volume Afluente ao Reservatório de Ernestina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, n.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.

CAMARGO, A. P. **Contribuição para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, (Tese de Doutorado). 1961.

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. 2006

CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agrossistemas. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p.1977-1985, 2004.

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**. p.191. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 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.

CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M. T., SILVA, V. P. R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.396-404, 2010.

CÂNDIDO, L. A. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização. **Ciência e Cultura**, v.59, n.3, p.44–47, 2007.

CANE, M. A. Tropical Pacific ENSO models: ENSO model of the coupled system. In: **Climate System Modeling** (Ed. Trenberth, K.E.), Cambridge, 1992.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; FONTANA, D. C. Análise decadal da temperatura do ar no estado do Rio Grande do Sul. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.2, p.214-219, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIBERMANN, B. Extreme precipitation events in south easterns south America and large-scale convective patterns in the south Atlantic convergence Zone. **Journal of Climate**. v.15, p.2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIBERMANN, B. The south Atlantic convergence zone intensity, from persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**. v.17, p.88-108, 2004.

CARVALHO, A. M. G.; Silva Dias, P.L.; Nobre, C.A. **Upper tropospheric vorticity and OLR structure over tropical South America - Third International Conference in Southern Hemisphere**. Buenos Aires. 1989.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ, 1961. (Tese de Doutorado).

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. IN: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 8. 1994. **Belo Horizonte, Anais... Belo Horizonte: SBMET**, v.1, p.154-157, 1994.

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**, Brasil, v.10, n.1, p.140-147, 2006.

CHAVAS, D. R.; IZAURRALDE, R. C.; THOMSON, A. M.; GAO, X. Long-term climate change impact on agricultural productivity in eastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, n.1, p.1118-1128, 2009.

CHESF. **Companhia Hidroelétrica do São Francisco**. Gerencia Regional de Operação Oeste. Teresina – PI. 2000.

CHIBANA, E. Y.; FLUMIGNAM, D.; MOTA, R. G. VIEIRA, A. S.; FARIAS, R. T. Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: **Congresso Brasileiro de Agroinformática**, v.9, 2005, Londrin, SBI-AGRO, 2005.

CHILDE, G. A evolução cultural do homem. **Rio de Janeiro**. Zahar. 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. **São Paulo**: Edgard Blücher, 1981.

CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.111, p.1655 – 1664; 1983.

CLIMATE RESEARCH UNIT. Global temperature record. Disponível em: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming>. Acesso em: 04/09/2011.

CODEVASF. Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba – PLANAP. Documento final. Teresina, 2006.

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.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; DIAS, P. L. S.; OLIVEIRA, S. Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 2: Previsão Climática Hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.10, n.4. p.61-72, 2005.

COMDEPI. Companhia de desenvolvimento do Piauí. **Estudo de viabilidade para aproveitamento hidroagrícola do vale do rio Uruçuí Preto**. Teresina, 2002.

CONG, Z. T.; YANG, D. W.; NI, G. H. Does evaporation paradox exist in China? *Hydrol. Earth Syst. Sci.* v.13, p.357-366, 2009.

CORREIA M. F.; SILVA DIAS, M. A. F. Variação no nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.57-168, 2003.

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 caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v.34, p.1-4, 2007.

COSTA, M. S. **Vórtice Ciclônico Em Altos Níveis Associado À Corrente de Jato no Nordeste Brasileiro nos anos de 1998 - 2007**. p.113. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL), Maceió - AL. 2010.

COSTA, M. S.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Padrões de Circulação Atmosférica no Nordeste Brasileiro dos Eventos de Vórtices Ciclônico de Altos Níveis com Correntes de Jato. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.6, n.4, p.794-804, 2013.

COSTA, T. S. A.; COSTA FILHO, J. F.; BARACHO, D. C.; SANTOS, T. S.; MARINHO, E. C. S. Análise da temperatura do ar em Areia - PB, em anos de ocorrência de “El Niño”. **Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia** – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES. 2011.

CPTEC/INPE. **El Niño**. Boletim Informativo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. Disponível em: [http://www.cptec.inpe.br/enos/globo\\_elnino.shtml](http://www.cptec.inpe.br/enos/globo_elnino.shtml). Acesso em: 12 de Setembro, 2013.

CPTEC/INPE. **La Niña**. Boletim Informativo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/laninha/laninha3p.html>. Acesso em: 12 de Setembro, 2013.

CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v.3, p.124-143, 2013.

CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JR. A. C. P.; DANIEL, L. A.; SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.9, n.4, p. 322-328, 2004.

CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal model of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v.26, n.9, p.1165-1180, 2006.

DA SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; DANTAS, R. T. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.431-439, 2002.

DA SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; VENTURA, E. D. Variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n. 2, p.189-202, 2004.

DA SILVA, D. F. **Influência da Variabilidade Climática Interanual na Hidrologia da Bacia do rio São Francisco**, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 2003.

DA SILVA, J. B.; SCHONS, R. L.; LARROZA, E. G. Probabilidade de ocorrência de rajadas máximas de vento em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.237-240, 1997.

DA SILVA, V. T. P.; SILVA B.R. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011

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.

DANTAS, R. T.; NÓBREGA, R. S.; CORREIA, A. M; RAO, T. V. R. Estimativas das temperaturas máxima e mínima 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.

DICKINSON, R.; OLESON, K. The Community Land Model and its climate statistics as a component of the Community Climate System Model. **Journal of Climate**, v.19, p.2302–2324, 2006.

DOUROJEANNI, R. A. Water management at the river basin level: challenges in Latin América. In: ONU. **Comissão Econômica para América Latina e Caribe**. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Série Recursos Naturales e infraestructura. Santiago, Chile, August, p.81, 2001.

DRUMOND, A. T.; AMBRIZZI, T. Inter ENSO variability and its influence over the south american monsoon system. **Advances in Geosciences**. v.6, p.167-171, 2006.

DU, Y.; VACHON, P. W.; WOLFE, J. Wind direction estimation from SAR images of the ocean using wavelet analysis. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.25, n.3, p.498-509, 2002.

DUFER, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.93, p.167-178, 2008.

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.

EMATERPI. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí. 2008.

EMBRAPA **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Piauí**. V. SNLCS. Rio de Janeiro, 1986.

ESLAMIAN, S.; BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. *International Journal of Ecological Economics & Statistics*, 2008. <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ain28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ain28516608/)>. 24 março 2014.

ESPINOZA, E. S. **Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical**. Dissertação de mestrado. São José dos Campos, INPE. 1996.

EUM, J. H.; SCHEREB, D.; FEHRENBACH, U.; KOPPEL, J.; WOOD, J. H. Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information—The Seoul example. **Land Use Policy**, v.34, p.223-232, 2013.

FAÇANHA, D. A. E.; SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; GUILHERME, M. M.; VASCONCELOS, A. M. Variação anual de características morfológicas e da temperatura de superfície do pelame de vacas da raça Holandesa em ambiente semiárido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.837-844, 2010.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Documento Colección FAO: Agricultura n.38. Roma, Itália, 2007. p.255. Disponível em: [www.rlc.fao.org/es/agricultura/sofa/pdf/sofa07es.pdf](http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/sofa/pdf/sofa07es.pdf). Acesso em: março 2014.

FEDOROVA, N. Meteorologia Sinótica. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. **Editora Universitária**, v.2, p.242, 2001.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.70-276, 2011.

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, Brasil.

FERRAZ, P. A. A. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) para a Região de Rio Branco, AC – Rio Branco – UFAC**. Dissertação de Mestrado, 2008.

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, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em período de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.19, p.89-98, 2004.

FILGUEIRAS, O. Vigia de ventos e ondas. Grupo do INPE estuda a formação dos ciclones no Atlântico Sul e mantém um serviço on-line de previsões meteorológicas, disponível em [http://www.lamma.ufrj.br/spo/fapesp/artigo\\_atlasul.htm](http://www.lamma.ufrj.br/spo/fapesp/artigo_atlasul.htm) Acesso: junho. 2014.

FILL, H. D. Informações hidrológicas. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA JUNIOR, B. P. F. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo; Nobel/ABRH, p.95-202, 1987.

FILL, H. D. Informações hidrológicas. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Nobel/ABRH. c.2. p.93-210. 1987.

FLORENZANO, TERESA G. (Org.). **Gemorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). Revista Ambiente e Água – **A Interdisciplinary Journal of Applied Scienc**, v.1, n.1, p.61-71, 2006.

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.

FRANCO, F. M.; SOUZA, L.; MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Configuração urbana e sua interferência no microclima local. In: Musis, C. R.; Nogueira, M. C. de J. A. (org.). Contribuições ao estudo de conforto ambiental e sistemas urbanos na Grande Cuiabá. Cuiabá: **EdUnic**, v.2, p.21-44, 2010.

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**, Santa Maria, v.7, n.1, p.81-90, 1999.

GALVÍNCIO, J. D. **Impactos dos eventos El Niño na precipitação da Bacia do rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba (PB), p.117, 2000.

GALVÍNCIO, 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, p.135-146, 2006.

GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. Impact of Tropical Heat Sources on the South American Tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of Geophysical Research**, v.103, p. 6001-6015, 1998.

GEMIACKI, L. **Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; 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.

GOMES FILHO, M. F. Inter-relações entre TSMs Globais, Sistemas Atmosféricos de Meso e Grande escalas e Anomalias de Volume dos Principais Reservatórios de Água da Paraíba. Campina Grande, PB, p.117. **Tese (Doutorado)**. Departamento de Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, 2000.

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. Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.560-564, Campina Grande-PB, DEAG/UFCG, 2005.

GOMIDE, R. L; BERNARDO S.; VIEIRA M.; SEDIYAMA G. C. Modelo matemático para determinar a uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.27, n.153, p.471-485, 1980.

GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.52, p.3538-3555, 1995.

GUEDES, R. L; OYAMA, M. D. Aspectos observacionais das oscilações intra-sazonais de intensidade do vento em Alcântara usando ondeletas: análise preliminar. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 13**. Fortaleza. **Anais**. Rio de Janeiro: SBMet, CDROM. 2004.

GURGEL, H. C. Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima. p.120. **Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos. 2003.

HARMSSEN, E. W.; MILLER, N. L.; SCHLEGEL, N. J.; GONZALEZ, J. E. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. **Agricultural Water Management**, v.96, n.1, p.1085-1095, 2009.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, p.77-92. 1977.

HAYLOCK, M. R.; N. HOFSTRA, A. M. G.; KLEIN TANK, E. J.; KLOK, P. D.; JONES, AND M. NEW. A European daily high resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, **Journal Geophys. Res.**, v.113, 2008.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.594-599. 2007.

HEPINALDO H. F. B. **Vórtice Ciclônico em Altos Níveis e Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro em anos de El Niño e La Niña**. p.106. Dissertação (Mestrado Em Meteorologia)

Instituto de Ciências Atmosféricas (Icat/Ufal), Maceió - AL. 2010.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: CUNHA, A. R.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: **Escrituras**, 2002.

HUBER, L.; GILLESPIE, T. J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, v.30, p.553-577, 1992.

INMET. **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS** (1961-1990). Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 2009.

INMET/LABSOLAR/EMC/UFSC. **Atlas de irradiação solar do Brasil**. (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície). Brasília – DF. p.58, 1998

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: dez. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2001 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. **Cambridge Univ. Press**, Cambridge, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge: University Press, Cambridge**: United Kingdom, 976p. 2007

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. 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.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policy Makers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>. Julho 2013.

JACQUES SERVAIM. Clima do Atlântico Tropical e Impactos sobre o Nordeste (CATIN). **Série Oceanografia e Meteorologia da Funceme** 1.p.392. 2010.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Estimativa da temperatura média diária do ar em distintas regiões brasileiras empregando métodos alternativos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.5, p. 407-416, 2010.

JUSTUS, C. G. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal Applied of Meteorology**, USA. v.17, n.3, p.350-353, 1978.

KANE, R. P. e TRIVEDI, B. Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil, **Clim. Change**, v.13, p.317 - 336, 1988.

KANE, R. P. El Niño and La Niña events and rainfall in NE and south Brazil. **Revista Brasileira Geofísica**. v.10, n.2, p.49 - 59, 1992.

KANE, R. P. Prediction of droughts in northeast Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, **Inter. Journal climatol.** v.17, p.655 - 665, 1997.

KANTELHARD, T J. W.; ZSCHIEGNER, S.; KOSCIELNY-BUNDE E.; BUNDE A.; HAVLIN S.; STANLEY H. E. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series, **Physica A**, v.316, n.87, p.355-366. 2002.

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.

KERR, J. Benefícios compartilhados do manejo da bacia hidrográfica do Sukhomajri, Índia. IN: PAGIOLA, S.; BISHOP, J.; LANDELL-MILLS N. Mercados para serviços ecossistêmicos: Instrumentos econômicos para conservação e desenvolvimento REBRAF. 2005.

KILADIS, G. N. E.; MO, K. C. Interannual and intraseasonal variability in the Southern Hemisphere. *Meteorology of the Southern Hemisphere*, Meteor Monogr n.49 **Amer Meteorology Society**. p.307-336, 1998.

KODAMA, Y-M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **Journal of Meteorological Society Japan**, n.71, p.581-610, 1993.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. KLIMATE DER ERDE. **Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map** 150cmx200cm. 1928.

KOSTOPOULOU, E.; JONES, P. D. Assesmente of climate extremes in the Eastern Mediterranean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.89, p.69-85, 2005.

KOUSKY, V. E.; CHU, P. S. **Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil**. São José dos Campos: INPE. p.13, 1977.

KOUSKY, V. E.; Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.7, n.9, p. 1140 - 1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical south Atlantic. **Tellus**, v.36, n.6, p.538 - 551, 1981.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies, **Tellus**, v.36A, p.490-504, 1984.

KOUSKY, V. E. **Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3, p.217-231.1988.

LACAVAL, C. I. V. **Influências de Zona de Convergência na organização da convecção tropical sobre o NEB**. Dissertação de mestrado em meteorologia (Publicação DCA/CMM – TD), Campina Grande – PB, p.117, 1995.

LACERDA, F. L.; VIEIRA DE MELO, A. V. P.; SOARES, D. B. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 18, Campo Grande-MT. 2009.

LAURENT, H.; VILTARD, A.; DE FELICE, P. Performance evolution and local adaptation of the ECMWF system forecast over northern Africa for summer 1985. **Monthly Weather Review**, v.117, p.199-209, 1989.

LEITE, M. L.; FILHO, J. S. V. Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa - PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, n.2, p.157-167, 2006.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decadal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.397-407, 2006.

LEMO FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 12, p.1294-1303, 2010.

LI, W., FU, R.; DICKINSON, R. E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, v.111, n.D2, 2006.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly Convective variability over south America and the south atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v.12, p.1877-1981, 1999.

LIMA, M. G.; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.221-227, 1998.

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.

LOHMANN, S.; SCHILLINGS, C.; MAYER, B.; MEYER, R. Long-term variability of solar direct and global radiation derived from ISCCP data and comparison with reanalysis data. **Solar Energy**, v.80, n.1, p.1390-1401, 2006.

LOUREIRO, R. S.; GOMES, R. G.; ROCHA, E. J. P. Análise de uma Linha de Instabilidade costeira na região leste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 258-270, 2006.

MACHADO, C. B.; BRAND, V. S.; CAPUCIM, M. N.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A. Eventos extremos de precipitação no estado do Paraná. **Revista Ciências e natura**. Edição especial. p.081-083, 2014.

MACIEL, A. C.; MEDEIROS, R. M. Estudo da direção predominante do vento em Teresina In: V Connepi, 2010, Maceió - AL. **V Connepi**. 2010.

MADDEN, A. R.; JULIAN, P. R.: Observations of the 40-50-day tropical oscillation - A review. **Monthly Weather Review**. v. 22, p. 814-837, 1994.

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.

(MMA). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília. p.123, 2006.

(MMA). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI/José A. Marengo. Brasília: MMA, 2007.

(MMA). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da CAATINGA. Brasília/DF. Serviço Florestal Brasileiro. p.368. 2010.

MARENGO, J. A. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro, 2007.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. Surface air temperatura trends in souther Brasil for 1960-2002. **International Journal Climatol**. v.28, p.893-904, 2008.

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>, acesso em: setembro de 2014.

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>, acesso em: 06 de fevereiro de 2012.

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 - Reinos Unidos sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. p.56, 2011.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v.17, n.12, p.2261-2280, 2004.

MARENGO, J.; SILVA DIAS, P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. Eds. A. Rebouças, B., Braga e J. Tundisi. Editoras Escrituras, SP, p.63-109, 2006.

MARIN, F. R. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, v.117, n.1-2, p.227–239, 2012.

MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C. Análise da Influência dos fenômenos El Niño e La Niña no clima de Piracicaba. In: X congresso brasileiro de agrometeorologia, **Anais...: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, 1997.

MARTIN-BENITO, J. M. T.; GOMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working of sprinkler to optimize application of water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, New York, v.118, n.6, p.713-895, 1992.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B O aproveitamento da energia eólica Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, São José dos Campos, SP, Brasil, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.1, p.1304-1316, 2008.

MARUYAMA, T.; KAWACHI, T.; SINGH, V. P. Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. **Journal of Hidrology**, v.309. p.104-113, 2005.

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.

MCVICAR, T.; RODERICK, M.; DONOHUE, R.; LI, T. L.; VAN NIEL, T. G.; THOMAS, A.; GRIESER, J.; JHAJHARAI, D.; HIMRI, Y.; MOHOWALD, N. M.; MESCHERSKAYA, A.V.; KRUGER, A. C.; REHMAN, S.; DIMPASHOH, Y. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial nearsurface wind speeds: Implications for evaporation. **Journal of Hidrology**. v.34, p.416-417, 2012.

MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P. e 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. **Séries pluviométricas do Estado do Piauí**. 152p. 1999.

MEDEIROS, R. M. Nova versão das isoietas médias mensais e anuais do estado do Piauí: **Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação**, Departamento de Hidrometeorologia, p.38, 2000.

MEDEIROS, F. C.; MOLION, L. C. B. Influências do clima global nas descargas de bacias hidrográficas do Estado de Alagoas. In: XII congresso brasileiro de meteorologia, **Anais Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Foz do Iguaçu, PR, CDROM. 2002.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, C. O. Variação média mensal e anual da umidade relativa do ar para o estado do Piauí. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia Florianópolis-Santa Catarina – Brasil**. 2006.

MEDEIROS, R. M. Apoio Agrometeorológicos a Irrigação e Barragens. Divulgação avulsa p.12. 2008

MEDEIROS, R. M. Planilhas eletrônicas para o cálculo do Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather. 2009.

MEDEIROS, A. M. T.; MEDEIROS, R. M.; LIMA, R. C. Impactos Climáticos - A variabilidade do balanço hídrico nas últimas 04 décadas - uma contribuição para o desenvolvimento sustentável para a produção de grãos em Gilbués In: **Educação ambiental: Responsabilidade para a conservação da sociobiodiversidade** ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, v.1, p.611-616, 2011a.

MEDEIROS, A. M. T.; MEDEIROS, R. M.; LIMA, R. C.; SILVA, M. P.; BANDEIRA, M. M. Balanço hídrico climatológico, em decorrência do aquecimento global, no município de São Raimundo Nonato localizado na área semiárido piauiense In: III Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e o I Workshop da Rede PELD Sercaatinga, Recife - PE. **III Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e o I Workshop da Rede PELD Sercaatinga**. Recife - PE: IIIwmcrrhpe, p.22 – 35. 2011b.

MEDEIROS, R. M.; MEDEIROS, A. M. T.; LIMA, R. C. C. Estudo dos elementos meteorológicos do município de Gilbués - PI, uma contribuição para o desenvolvimento sustentável nas áreas críticas à desertificação e a seca. Apresentado no **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia** – 18 a 21 de Julho de 2011 SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES. 2011c.

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, L. J. V.; BORGES, C. K.; LIMA, R. C. C. Variabilidade anual da precipitação pluvial e condições de captação e armazenamento de água no município de Floriano-PI. Apresentado no **8º Simpósio Brasileiro de Captação de águas de Chuvas**, no período de 14 a 17 de agosto de 2012. Local: Federação das Indústrias do Estado da Paraíba, Campina Grande, PB. 2012a.

MEDEIROS, R. M.; TAVARES A. L.; BORGES, C. K.; SILVA, J. A. S.; SILVA, V. P. R. Metodologias de cálculo da temperatura média diária do ar: aplicação para os municípios de Parnaíba, Picos e Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza - Ceará, p.283 - 295, 2012b.

MEDEIROS, R. M. Estudo agrometeorológico para o Estado do Piauí. **Reedição Avulsa**. p.120. 2013a.

MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. C.; DE 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** v.6, n.4, p.652-664, 2013b.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P. R.; GOMES FILHO, M. F. Análise hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto - PI. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.5 n.4, p.151-163. 2013c.

MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. 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, p.44-50, 2013d.

MEDEIROS, R. M.; BORGES, C. K.; GOMES FILHO, M. F. Estudo da direção predominante do vento sobre a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI. **Congresso Técnico Científico da**

**Engenharia e da Agronomia**, CONTECC 2014, Centro de Convenções Atlantic City - Teresina – PI, 12 a 15 de agosto de 2014a.

MEDEIROS, R. M.; GOMES FILHOS, M. F.; OLIVEIRA, R. C. S. Variação média mensal e anual da umidade relativa do ar sobre a bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto-PI. **XVIII CBMET – Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Anais. Recife – PE de 3 a 6 de novembro de 2014b.

MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Análise temporal do balanço hídrico na bacia do rio Uruçuí Preto – Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física** V.10 N. 9 2014c.

MEDEIROS, R. M.; SOUSA, F. A. S.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade espaço temporal da precipitação na área da bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.07, n.02, p.211-222. 2014d.

MEDEIROS, R. M.; GOMES FILHOS, M. F. Impactos ambientais em bacias hidrográficas – caso da bacia do rio Uruçuí Preto – PI. **TERRA Saúde Ambiental e Soberania Alimentar/ Giovanni Seabra (Organizador)**. Ituiutaba: Barlavento, Vol. I. p.1327. 2015.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n.2, p.408-416. 2006.

MÉLO, A. S.; MEDEIROS, R. M.; MELO, E. C. S.; PATRICIO, M. C. M.; TAVARES A. L.; AZEVEDO, P. V. Avaliação de mudanças climáticas a partir da classificação climática em Teresina (PI) In: **IV SIC - SIMPÓSIO Internacional de Climatologia**, 2011, João Pessoa/PB. **IV SIC - SIMPÓSIO Internacional de Climatologia**. 2011.

MELO, M. L. **Propagação e direção dos focos de queimadas no Distrito Federal**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12. E Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3. 2001. Fortaleza, CE, **Anais...**, Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.205-206, 2001.

MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da Evapotranspiração de Referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.196–202, 2010.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: oficina de Textos, 2005.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n 2, p.275-279, 2003.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Análise Subjetiva da Simulação de Precipitação do Modelo ETA Climático para o Nordeste do Brasil no

período entre Janeiro e Março de 2003. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, 2003, Santa Maria - RS. **Anais...** Santa Maria-RS: SBA, p.811-12, 2003.

MEZZOMO, D. Modelos prognósticos da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul. 2005. p.89. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – **Universidade Federal de Pelotas**, 2005.

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.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químico. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.2, p.75-92, 2009.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B. The energetic of an upper tropospheric cyclonic vortex over northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v.127, n.577, p.2329–2351, 2001.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; GAN, M. A. Structure and evolution of the large-scale flow and embedded upper-tropospheric cyclonic vortex over Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. v.129, p.1673-1688, 2001.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H. Genesis of the Northeast Brazil Upper Tropospheric Cyclonic Vortex: A primitive equation barotropic instability study. **Journal of the Atmospheric Sciences**. 2007.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3-4, p.7-24, 2008.

MOLION, L. C.; BERNADO, S. O. Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste Brasileiro. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais Sociedade Brasileira de Meteorologia SBMET**. 100132, Rio de Janeiro – RJ, CDROM, 2000.

MOLION, L. C.; BERNADO, S. O. Uma revisão das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia – SBMET**. v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MOLION, L. C.; MORAES, J. C. Oscilação Sul e descargas de rios na América do Sul Tropical. **Revista brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos**, v.5, p.53-63, 1987.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. Quinta edição. Livraria Nobel SA. São Paulo. 1979.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observation, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.38, p.2653-2675, 1981.

MUES, A.; MANDERS, A.; VAN ULFT, L.H.; VAN MEIJGAARD, E.; BUILTJES, P. Differences in particulate matter concentrations between urban and rural regions under current and changing climate conditions. **Atmospheric Environment**, v.80, p.232-247, 2013.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava - SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, p.30-34, 2008.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v.59, n.3, p.22-27, 2007.

NÓBREGA, J. N. **Eventos Extremos de precipitação nas Mesorregiões do Estado da Paraíba e suas relações com a TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2012.

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.V, p.708 –724, 2012.

NOGUES-PAEGLE, J.; MECHOSO, C. R.; FU, R.; BERBERY, E. H.; CHAO, W. C.; CHEN, T-C. Progress in Pan American Clivar Research: Understanding, the south American monsoon. **Meteorológica**. v.27, p.3-30, 2002.

NORDELL, B. Global warming is large-scale thermal energy storage. In: NATO, Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption Fundamentals, Case Studies and Design. Springer-Verlag-NATO, p.75-86, 2007.

OLIVEIRA FILHO, J. C.; PINTO, E. S.; SABOYA, L. M. F.; PERON, A.; CAETANO, G. Caracterização do regime pluviométrico da região do projeto rio formoso na bacia do Araguaia - To, Brasil. **Acta Amazônica**, v.31, p.221-226, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; CUNHA, A. C. Análise de risco como medida preventiva de inundações na Amazônia: estudo de caso da enchente de 2000 em Laranjal do Jari-AP, Brasil. **Revista Ciência & Natura**, edição especial (in press). 2014a.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Rev. Ambiente e Água** v.9, n.2, p.261-275, 2014b.

OLIVEIRA, G. S. O El Niño e Você – O Fenômeno Climático. São José dos Campos, SP: **Transtec Editorial**, 1999.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimentos de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.11, p.1186-1192, Campina Grande, PB. 2010.

OLIVEIRA, R. C. S.; MEDEIROS, R. M.; NETO, F. A. C.; MENEZES, H. E. A. Impactos ambientais da urbanização na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto (Piauí). **TERRA Saúde Ambiental e Soberania Alimentar/ Giovanni Seabra (Organizador)**. Ituiutaba: Barlavento, v. I. p.1327. 2014.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. Calculation of monthly and annual 30 - year standard normals. Geneva (WMO) Technical document, v. 341; WCDP, n.10, 1989.

OMM. Organização das Nações Unidas. **Declaração dos direitos da água**. p.345, 1992.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). Base Científica das Mudanças Climáticas. **Sumário executivo do volume 1**. Rio de Janeiro, p.34, 2012.

PAIVA NETO, A. C. **Distúrbios de leste: Diagnóstico e relação com a precipitação no estado da Paraíba em períodos de contraste**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. p.107. 2003.

PAIXÃO, E. B. **Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil**. 1999. p.89. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PALMER, C. E. On high-level cyclones originating in the tropics. **Transactions of American Geophysical Union**. v.32, n.5, p.683-695, 1951.

PAZ, V. P. **Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. Viçosa, MG: UFV, 59p. Dissertação Mestrado. 1990.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: Fundamento e Aplicações. **1ª edição Livraria e Editora Agropecuária Ltda**. p.478. 2002.

PEREIRA, D. R.; YANAGE, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2488-2493, 2009.

PETERSEN, W.A., et al., 2002: TRMM observations of intraseasonal variability in convective regimes over the Amazon. **J. Clim.**, 15, 1278–1294, doi:10.1175/1520-0442. 2002.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña and the Southern Oscillation**. Academic San Diego, 1990.

PINTO, S. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Variabilidade climática. In: HAMADA, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Cap. CDROM. 2003.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.213, p.247-253, 2004.

QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. **Dissertação de Mestrado**, INPE, São José dos Campos (SP), 97 pp. 1994.

QIAN, W.; LIN, X. Regional trends in recent precipitation indices in China. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.90, p.193 – 207, 2005.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil**. p.109. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v.318, p.57-79, 2006.

RAO, V. B.; BONATTI, J. P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v.37, p.11-16, 1987.

RIBEIRO, H; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**. v.16, n.44, p.125-148, 2002.

RIBEIRO, J. M.; SOUZA, F. Avaliação da irrigação por aspersão: Influência do clima na uniformidade e eficiência. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.14, n.1/2, p.123-136, 1983.

RIBEIRO, R. E. P.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Distúrbio ondulatório de leste e linhas de instabilidade: impacto na precipitação no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.6, n.4, p.837-856, 2013.

ROCHA, J. S. M Manual de projetos ambientais. Santa Maria. UFSM, p.423, 1997.

ROCHA, J. S. M.; KURTS, S. M. J. M. Manual do manejo integrado de Bacias Hidrográficas. 4. Ed. **Santa Maria**. UFSM/CCR. P.120, 2001.

RODERICK, M. L.; ROTSTAYN, L. D.; FARQUHAR, G. D.; HOBBS, M.T. On the attribution of changing pan evaporation. **Geophys. Res. Lett.** v.34, 2007.

RODRIGUES, M. L.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S., Climatologia de frentes frias na litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22, n.2, p.135-151, 2004.

ROEHRIG, R. The present and future of the West African monsoon: a process-oriented assessment of CMIP5 simulations along the AMMA transect. **Journal of Climate**, 2013.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955). Piracicaba. **ESALQ**. CDROM. 1999.

ROPELEWSKI, C. F.; JONES, P. D. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. **Monthly Weather Review**, Washington, v.115, p.2161-2165, 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation, **Journal Climate**, v.2, p.268-283, 1987.

ROSSI N.; MASSEIA, A.; LAIGNELA, B. A synthesis of the time-scale variability of commonly used climate indices using continuous Wavelet transform. **Global and Planetary Change**, v.78, p.1-13, 2011.

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.

SAMPAIO, G. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v.34, p.1-7, 2007a.

SAMPAIO, S. C.; QUIROZ, M. M. F.; FRIGO, E. P.; LONGO, A. J.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o Estado do Paraná. **Irriga, Botucatu**, v.12, n.1, p. 38-53, 2007b.

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.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Tendências nas temperaturas máximas e mínimas e nas precipitações sazonais do Rio Grande do Sul (1913-2006). **Anais...: Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010a.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period, **Theoretical and Applied Climatology**, Amsterdam, v.101, p.209-216, 2010b.

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, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A.; BARBOSA SILVA, A. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p.355-364, 2012.

SANTOS, A. S.; GOMES, H. B.; AMORIM, R. F. C.; AMORIM, R. C. F.; PONTES, E. G. S.; MEDEIROS, F. C. Estudo da Climatologia dos Ventos Através dos Dados de Reanálises: Período 1970-2002, e Sua Relação com a Precipitação para o Estado de Alagoas nos Anos 1992/94. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2004, Fortaleza - CE. Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2004.

SANTOS, C. A. C. **Estimativas e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. Dissertação de mestrado em Meteorologia, UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), Campina Grande, PB, 2006.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.303 – 312, 2007.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAMANA RAO, T. V.; MENEZES, H. E. A. Tendência dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.157–165, 2011.

SANTOS, C. A. C.; NEALE, C. M. U.; RAO, T. V. R.; SILVA, B. B. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. **International Journal of Climatology**, 2011.

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, M. M.; AZEVEDO, M.; COSTA, L. A. B.; SILVA FILHO, F. P.; MODESTO, E. C.; LANA, A. M. Q. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês, de diferentes pelagens, em pastejo. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.33, p.287-294, 2011.

SANTOS, R. **Estimativas e Tendências de Índices de Extremos Climáticos com base na precipitação diária no Estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Campina Grande – PB. 2010.

SANTOS, S. A.; CORREIA, M. F.; BRAGA, C. C.; SILVA ARAGÃO, M. R. Análise estatística de chuvas intensas e inundações no semiárido da bacia do Rio São Francisco: a cheia de 1985. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.3, p.278-290, 2010.

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, 2007.

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.

SENTELHAS, P. C.; MARTA, A. D.; ORLANDINI, S.; SANTOS, E. A.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.392-400, 2008.

SEPULVEDA, S. Biograma: metodologia para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios. **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)**. San José, Costa Rica. 132 p. 2008.

SHAXSON, T. F. Produção e proteção integradas em microbacias. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; FREITAS, S. S. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Campinas, SBCS, p.526, 1988.

SHOURASENI, S. R.; ROBERT, C. B. J. R. Trend in extreme daily precipitation indices in India. **Interntional Journal of Climatology**, v.24, p.457-466, 2004.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo em Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p.133-150, 1987.

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...: V Semana do Meio Ambiente**. 3 a 5 de junho de 2008 - Recife, PE.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; AZEVEDO, F. G. B.; CAVALCANTI, E. P.; DANTAS, R., T. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente** v.6, n.3, 2002.

SILVA, D. F.; SILVA, R. A. (2011). Uso Do Teste De Mann-Kendall Para Detecção De Tendências Climáticas Comparativas Entre Regiões Cearenses. In: IV SIC, 2011, João Pessoa. **Anais do IV SIC**, 2011.

SILVA, F. M.; SILANS, A. M. B. P. Avaliação do modelo numérico e regional ETA/CPTEC no  
SILVA, I. A. S.; SILVA, J. C. B.; SILVA, K. A. 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, J. F. da **El Niño, o fenômeno Climático do Século**, Brasília, Editora Thesaurus, p.139 2000.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.

SILVA, L. L. Precipitações pluviais da pré-estação chuvosa e do período chuvoso e suas influências na produtividade agrícola da Paraíba. **Dissertação de mestrado em Meteorologia**, UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), Campina Grande, PB, 2007.

SILVA, L.; ALMEIDA A. H.; COSTA FILHO. J. F. Captação de água de chuvas na zona rural: uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino In: V Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva, Teresina, PI. **Anais....Teresina: CDRom**, 2005.

SILVA, M. S.; COSTA, L. A. M.; BENINCASA, M.; LUCAS JR. J. Avaliação das perdas de nitrato em solo irrigado e submetido a diferentes intensidades de radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.82-88, 1999.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.501-509, 2010.

SILVA, V. J. M. Uso de sistemas agroflorestais como viabilizadores de corredores ecológicos. **Monografia de pós-graduação**. 78 p. Universidade Federal de Lavras – MG. 2008.

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** v.6, n.5, p.1463-1475, 2013.

SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M; PATRICIO, M. C. M.; TAVARES A. L. Comparação do balanço hídrico normal climatológico 1962 a 2009 em relação ao ano de 2010 para o município de Gilbués - PI, um subsídio para o desenvolvimento sustentável da produção de grãos e as áreas de desertificação e a seca. In: III Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e I Workshop da Rede PELDSerCaatinga, 01(2011) 165-178, 2011, Recife - PE. **IIWMCRRHPE e IWSERCAATINGA**. Recife - PE: iiwmcrrhpe, p.165 – 178. 2011.

SILVEIRA, C. S.; FILHO, F. DE A. S.; LÁZARO, Y. M. C. Avaliação de Desempenho dos Modelos de Mudança Climática do IPCC-AR4 Quanto a Sazonalidade e os Padrões de

Variabilidade Interanual da Precipitação Sobre o Nordeste do Brasil, Bacia do Prata e Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.1, p.177–194, 2013.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro, **Embrapa Arroz e Feijão**, 2004.

SIMPSON, R. H. Evolution of the konostorm, a subtropical cyclone. **Journal of the meteorology**. v.9, p.24–35, 1952.

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. **SIMP GEO-SP**, Rio Claro, 2008.

SOLMAN, S. A. Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. **Climate Dynamics**, 2007.

SOUSA, C. A.; DAMIÃO, M. C.; ALVES, L. M. Atuação de vórtices ciclônicos em altos níveis nos meses de verão de 2000/2001 (parte a) In: **XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III reunião Latino-Americana de Agrometeorologia**. Anais Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. Fortaleza, CE, 2001.

SOUSA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; NETTO, A. O.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.633-644, 2010.

SOUZA FILHO, F. A.; COSTA, A. A.; ALVES, J. M. B. Sobre o impacto do fenômeno El Niño-Oscilação Sul na afluência de reservatório do sistema hidroelétrico brasileiro, In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Foz do Iguaçu, PR, CDROM. 2002.

SOUZA, L. R.; AMANAJÁS, J. C.; SILVA, A. P. N.; BRAGA, C. C.; CORREIA, M. F. Determinação de Padrões espaço-temporal e regiões homogêneas de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Engenharia Ambiental (UNIPINHAL. Impresso)**, v.8, n.2, p.265-280 2011.

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.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F. P.; GOIS, G. Avaliação do modelo de Bristow & Campbell na estimativa, média mensal dos totais diários da irradiação solar global para o Vale do Rio Doce, MG. In: **congresso brasileiro de agrometeorologia**, 14, Campinas. **Anais...** Campinas: SB Agro, CDROM. 2005.

SOUZA, M. L. A. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em Rio Branco**, Acre. 2009. p.75. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal), Universidade Federal do Acre, Rio Branco – Acre, 2009.

SOUZA, W. M.; SILVA, R. F.; CORREIA, A. M.; SOUSA, W. S.; MELO, I. D. F. Índices de Extremos Climáticos de Precipitação Observados na Bacia do Rio Sirinhaém - Pernambuco, Brasil. **Anais do XI Congresso Argentino de Meteorologia**. 2012.

SPOHR, R. B.; CARLESSO, R.; GALLÁRRETA, C. G.; PRÉCHAC, F. G.; PETILLO, M. G. Runoff modeling from soil physical characteristics in different places in Uruguay. **Ciência Rural**, v.39, p.74-81, 2009.

STRASSBURGER, A. S.; MENESES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDES, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.273 – 278, 2011.

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. de Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.

SUDENE. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú**. Recife - PE, 1999. SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Piauí**. Recife, (Série Pluviometria, 2). 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.

TANAJURA, C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO, H. A. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.345-358, 2010.

TAVARES A. L.; MEDEIROS, R. M.; MÉLO, A. S.; PATRICIO, M. C. M.; SILVA, V. P. R. Análise da precipitação e do número de dias com chuva no município de Teresina - PI In: VII Brazilian Micrometeorology Workshop, 2011, Santa Maria - RS. **VII Brazilian Micrometeorology Workshop**. 2011.

TAVARES, P. S. **Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no nordeste brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA)**. 2008. p.152. (INPE-15341-TDI/1377). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01>>. Acesso em: 02/12/2013.

TEBALDI, C. Going to the extremes An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. **Climatic Change**. 2006.

THOMAS, KEITH. **O homem e o mundo natural**: mudanças de atitudes em relação às planta e aos animais, 1500-1800. Tradução João Roberto Martins Filho. São Paulo: Companhia das Letras, 1988.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology** – Drexel Institute of Technology. New Jersey, v.8, n.1, p.1-86, 1955.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water Balance. **Publications in Climatology**, v.10, n.3. Drexel Institute of Technology, Centerton. 1957.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Uncertainty assessments of climate change projections over South America. **Theoretical and Applied Climatology**. 2012.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Nino. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.78, n.12, p.2771-2777, 1997.

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. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. p.943. 1993.

TUCCI, C. E. M. “Modelos Hidrológicos” **Editora da ABRH**, p.669, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazão**. Porto Alegre: UFRGS, p.256. 2002.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; DIAS, P. L. DA S.; COLLISCHONN, W. Previsão de médio prazo da afluência de reservatórios com base na previsão climática. Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto: **BRA/00/029. Relatório Final**. p.134. 2002.

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**, Coleção ABRH, p.348. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 1ed. Porto Alegre: UFRGS, p.678. 2005.

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 & Climate Change**, v.1, n.1, p.13-27, 2011.

URBANO, I.; DUQUE, C. **Técnicas de captação e uso da água no semiárido brasileiro**, v. 1, CDROM, Campina Grande - PB, 2007.

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 do Campo, 1989.

UVO, C. TR. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHIR, Y. The influence of tropical Pacific and Atlantic SST on Northeast Brazil monthly precipitation **Journal of Climate**, 1994. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise>. Acesso em: 25/08/2012.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, 2ª edição, Pax gráfica e editora, p. 532, Brasília – DF, 2001.

VAREJÃO SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife: **COTEC/DATA AGROS/SPRRA-PE**, p.38. (Relatório Técnico). 2001.

VENDRAMINI, E. Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico**. Botucatu: UNESP, 1986. p.110. tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1986.

VERAS, C. S.; HIGGINS, W.; AMADOR, J. AMBRIZZI, T.; GARREAND, R.; GOCHIS, D. Toward a unified view of the America monsoon systems. **Journal of climate**, v.19, n.20, p.4977-5000, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**, Editora UFV Universidade Federal de Viçosa, p.449. 2000.

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.

VIEGAS, J.; CARVALHO, L. R. R.; FARIAS, C. S. Comparação de Métodos da Estimativa da Evapotranspiração de Referência para o município de Rio Branco, Acre. **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2012.

VIRJI, H. A Preliminary Study Of Summertime Tropospheric Circulation Patterns Over South America Estimated From Cloud Winds. **Mon. Weather. Review**. v.109, p.599-610, 1981.

VORIES, E. D.; BERNUTH, R. D. Single nozzle sprinkler performance in wind. Transaction of the ASAE, St. Joseph, Michigan, v.29, n.5, p.1325-1330, 1986.

WINCHELL, M.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. On the simulation of infiltration- and saturation-excess runoff using radar-based rainfall estimates: Effects of algorithm uncertainty and pixel aggregation. **Water Resources Research**, v.34, p.2655-2670, 1998.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, n.26, p.189-193, 1971.

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.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA. p.58. 1978

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Interrelações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.111-126, 2003.

YIN, L. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? **Climate Dynamics**. 2012.

YOU, Q.; KANG, S.; AGUILAR, E.; PEPIN, N.; FLUGEL, W.; YAN, Y.; XU, Y.; ZHANG, Y.; HUANG, J. Changer in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003. **Climate Dynamics**, 2010.

ZEFILHOFFER, P.; LIMA, E. B. R.; SANTOS, F. M.; RIGO JÚNIOR, L. O. Um ambiente SIG para modelagem integrada da qualidade da água utilizando Qul2e. **Caminhos da Geografia**, v.8, n.10, p.107-125, 2003.

ZHANG, Q.; XU, C. Y.; ZHANG, Z.; CHEN, X.; HAN, Z. Precipitation extremes in a Karst region: a case study in the Guizhou province, southwest China. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, p.53–65, 2010.

ZIN, W. Z. W.; JAMULUDIM, S.; DENI, S. M.; JEMAIN, A. A. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. **Theoretical and Applied Climatology**, v.99, p.303-314, 2010.