



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CONSTRUÇÕES DE CENÁRIOS DE POSSÍVEIS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS PARA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE**

**MAYTÊ DUARTE LEAL COUTINHO**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

**MARÇO - 2011**

**MAYTÊ DUARTE LEAL COUTINHO**

**CONSTRUÇÕES DE CENÁRIOS DE POSSÍVEIS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS PARA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas  
Sub-área: Climatologia

Orientador: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
MARÇO - 2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C871c      Coutinho, Maytê Duarte Leal.  
              Construções de cenários de possíveis mudanças climáticas para a  
              Paraíba e Rio Grande do Norte / Maytê Duarte Leal Coutinho. —  
              Campina Grande, 2011.  
              93 f. : il. color.

              Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de  
              Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.  
              Referências.  
              Orientador: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito.

              1. Meteorologia em Mesoescala. 2. Cenários. 3. Projeções  
              Futuras. 4. Balanço Hídrico. 4. El Niño. 5. La Niña. 6. Rio Grande do  
              Norte. 7. Paraíba. I. Título.

CDU – 551.515.6(043)

MAYTÊ DUARTE LEAL COUTINHO


CONSTRUÇÕES DE CENÁRIOS DE POSSÍVEIS MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
PARA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10/3/2011

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. LINCOLN ELOI DE ARAÚJO  
Centro de Ciências Aplicadas e Educação  
Universidade Federal da Paraíba

*"A fé em Deus nos faz crer no incrível, ver o invisível e realizar o impossível..."*  
**(Autor Desconhecido)**

*"... Ora, sem fé é impossível agradar a Deus, porque é necessário que aquele que se aproxima de Deus creia que ele exista, e que é galardoador dos que o buscam."*  
**(Hebreus 11:6)**

Dedico aos meus pais: Uziel e Estela e  
Meus irmãos: Michely, Michelyne, Mychellane  
e Uziel Filho pelo amor, apoio, confiança e  
imensa força.

## **AGRADECIMENTOS**

*Quero te agradecer infinitamente Senhor, pelo teu amor, misericórdia, força e coragem que me deste para caminhar e chegar até aqui, me ajudando a conquistar o título de Mestre.*

*Quero agradecer aos meus pais, irmãos e cunhados, pelo incentivo sempre presente, apoio em todos os momentos.*

*Em especial a minha irmã Michelyne, pelo grande apoio, conselhos, dicas e por toda atenção e carinho quando mais precisei.*

*Ao meu orientador Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito, pela atenção, paciência, pelos grandes ensinamentos e apoio nesta minha nova conquista.*

*A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior) pela ajuda financeira dessa pesquisa durante o curso.*

*A todos os meus professores da pós-graduação pela atenção e ensinamentos, em especial aos professores: Dr. Ramana Rao, Dr. Enilson Cavalcanti e Dra. Célia Campos.*

*Aos membros da Banca Examinadora pela predisposição em analisar este trabalho e pelas relevantes contribuições recebidas.*

*A secretária Divanete Rocha do programa de pós-graduação em Meteorologia, pela paciência, atenção e assistência prestada durante todo o curso.*

*A Eyres pela disponibilidade dos dados oriundos da UACA.*

*A todos os meus colegas do curso de mestrado em meteorologia, em especial a Richelle, Roni e Francisco pela troca de conhecimentos e momentos vividos.*

*Em fim, fico muito grata a todos que direto ou indiretamente contribuíram para o término desse trabalho.*

## RESUMO

Neste estudo, buscou-se investigar possíveis alterações no comportamento das componentes do balanço hídrico climático, associadas a cenários de mudanças climáticas do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): aumento de 1,5° C e 3,0° C da temperatura média do ar e aumento e redução em 20% da precipitação média anual para os estados do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (RN). Tomaram-se como referência as condições climatológicas normais e também a variabilidade interanual climática durante anos com ocorrência de *La Niña* e *El Niño*. Os dados climatológicos de temperatura do ar e totais de precipitação pluvial usados neste estudo são oriundos da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA). O método de Thornthwaite e Mather (1957) foi utilizado para a elaboração do balanço hídrico. Os resultados das projeções mostraram tendência para um clima mais seco, diminuição na umidade do solo, redução na vazão dos rios, redução da umidade relativa na atmosfera dos dois Estados. Também foram verificadas variabilidades interanuais das componentes do balanço hídrico através das análises dessas componentes hídricas em anos de *La Niña* e *El Niño*. Observou-se que no período de *El Niño*, as condições da atmosfera nos estados do RN e PB foram mais secas do que a média climatológica, já em anos com *La Niña*, as condições atmosféricas foram mais úmidas. Verificou-se que as tendências encontradas nos cenários estavam além da variabilidade interanual do clima atual.

**Palavras-chave:** Cenários, Projeções Futuras, Balanço Hídrico, *El Niño*, *La Niña*, Rio Grande do Norte e Paraíba.



## ABSTRACT

In this study we tried find out possible changes in the climatic hydric balance components associated with scenarios of climate of the Intergovernmental Paineel on Climate Change (IPCC): increase of 1.5°C and 3.0°C the annual average air temperature and increase and decrease in 20% of average annual rainfall for the states of Rio Grande do Norte (RN) and Paraíba (PB). Were taken as reference the normal climatological conditions and analyzed the interannual climate variability over the years with the occurrence of *La Niña* and *El Niño*. The climatological data of air temperature and total rainfall used in this study are from Academic Unit of Atmospheric Sciences (AUAS). The method of Thornthwaite and Mather (1957) was used for the preparation of hydric balance. The results in the projections showed a trend towards driest climate, reduction in soil moisture, reduced river flows, decrease in relative humidity in the atmosphere of the two states. Interannual variability was also found in the components of hydric balance through the analysis of these hydric components in years with *La Niña* and one with *El Niño*. It was observed that during the periods of the *El Niño*, the atmospheric conditions in the states of the RN e PB were drier than the climatological average, while in years with *La Niña* the atmospheric conditions were wettest. It was checked that the trends found in the scenarios was beyond the interannual variability in the actual climate.

**Key-words:** Scenarios, Future projections, Hydric balance, *El Niño*, *La Niña*, Rio Grande do Norte e Paraíba.

# SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS

LISTAS DE TABELAS

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTAS DE SÍMBOLO

<b><u>1 INTRODUÇÃO</u></b> .....	<b>18</b>
<b><u>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u></b> .....	<b>20</b>
<u>2.1 Climatologia da Região</u> .....	20
<u>2.2 IPCC</u> .....	25
<u>2.3 Balanço Hídrico</u> .....	27
<b><u>3 MATERIAIS E MÉTODOS</u></b> .....	<b>31</b>
<u>3.1 Localização</u> .....	31
<u>3.1.1 Dados</u> .....	31
<u>3.1.2 Dados básicos observados e estimados</u> .....	31
<u>3.1.3 Outros dados utilizados</u> .....	32
<u>3.2 Metodologia</u> .....	33
<u>3.2.1 Balanço Hídrico Climatológico</u> .....	33
<u>3.2.1.1 Armazenamento de água no solo (ARM)</u> .....	36
<u>3.2.1.2 Evapotranspiração Potencial (ETP)</u> .....	37
<u>3.2.1.3 Evapotranspiração Real (ETR)</u> .....	38
<u>3.2.1.4 Excedente Hídrico (EXC)</u> .....	39
<u>3.2.1.5 Índice de Aridez (Ia)</u> .....	39
<u>3.2.1.6 Índice de Umidade (Iu)</u> .....	40
<u>3.2.1.7 Índice efetivo de umidade (Im)</u> .....	40
<u>3.2.1.8 Classificação Climática</u> .....	40
<u>3.2.2 Elaboração de Cenários</u> .....	41

<b><u>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</u></b> .....	<b>42</b>
4.1 <u>Precipitação Pluvial</u> .....	42
4.2 <u>Temperatura média do ar</u> .....	44
4.3 <u>Campos Resultantes do BH</u> .....	45
4.3.1 <u>Cenários de Evapotranspiração Potencial</u> .....	46
4.3.2 <u>Cenários de Anomalias de Evapotranspiração Potencial</u> .....	48
4.3.3 <u>Cenários de Evapotranspiração Real</u> .....	50
4.3.4 <u>Cenários de Anomalias de Evapotranspiração Real</u> .....	51
4.3.5 <u>Cenários para Excedente Hídrico</u> .....	54
4.3.6 <u>Cenários de Anomalias de Excedente Hídrico</u> .....	55
4.3.7 <u>Cenários para Armazenamento de água no solo</u> .....	58
4.3.8 <u>Cenários de Anomalias do Armazenamento de água no solo</u> .....	59
4.3.9 <u>Cenários do Índice de Aridez</u> .....	62
4.3.10 <u>Cenários de Anomalias do Índice de Aridez</u> .....	64
4.3.11 <u>Cenários para Índice Efetivo de Umidade</u> .....	66
4.3.12 <u>Cenários de Anomalias do Índice Efetivo de umidade</u> .....	67
4.4 <u>Anomalias das Componentes Hídricas em eventos de El Niño e La Niña</u> .....	70
<b><u>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u></b> .....	<b>74</b>
<b><u>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b> .....	<b>75</b>
<b><u>APÊNDICES</u></b> .....	<b>81</b>

## LISTAS DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Climatologia Bimestral de Chuva do Brasil (1970 – 1990). (FONTES: NMRH-AL, SRH-BA, FUNCEME-CE, SEAG-ES, SEMARH/LMRS-PB, SECTMA/DMRH-PE, SIMGE-MG, SEAAB-PI, EMPARN-RN, CEPES-SE, CMCD/INPE,INMET).....	21
<b>Figura 2.</b> Distribuição Espacial do mês no qual a Precipitação média mensal atinge o máximo e histograma de distribuição anual de Precipitação. Fonte: CPTEC/INPE.....	23
<b>Figura 3.</b> Mesorregiões do estado do RN e PB (Escala:1:4:600.000).Fonte:(IBGE, 2010).....	25
<b>Figura 4.</b> Distribuição Espacial das 68 estações convencionais do RN e PB.....	35
<b>Figura 5.</b> Distribuição espacial da (a) precipitação média (mm) anual observada para o período de 1966 a 2003; (b) projeções para cenários com redução em 20% de Precipitação observada nos estados da PB e RN.....	43
<b>Figura 6.</b> Distribuição espacial da Temperatura do ar (°C): (a) média climatológica no período de 1966 a 2003; (b) projeções para cenários com aumento de 3,0°C da média climatológica; (c) projeções para cenários com aumento de 1,5°C da média climatológica.....	45
<b>Figura 7.</b> Distribuição Espacial da ETP anual nos estados do RN e PB : (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período de 2011 – 2040; (c) média para os períodos de eventos de El Niño e (d) média para os períodos de evento de La Niña.....	47
<b>Figura 8.</b> Anomalias de ETP em relação ao ETP médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” com redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da Precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011 a 2040.....	49
<b>Figura 9.</b> Distribuição espacial da ETR anual nos estados RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.....	51

- Figura 10.** Anomalias de ETR em relação ao ETR médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011-2040..... 53
- Figura 11.** Distribuição espacial do EXC anual nos estados RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña..... 55
- Figura 12.** Anomalias de EXC em relação ao EXC médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% de precipitação; (b) para o cenário “B2” com redução de 20% de precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% de precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011-2040..... 57
- Figura 13.** Distribuição espacial de ARM anual no RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña..... 59
- Figura 14.** Anomalias de ARM em relação ao ARM médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040..... 61
- Figura 15.** Distribuição espacial de Ia nos estados do RN e PB para (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña..... 63
- Figura 16.** Anomalias de Ia em relação ao Ia médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040..... 65

<b>Figura 17.</b> Distribuição espacial de Im nos estados do RN e PB para (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.....	67
<b>Figura 18.</b> Anomalias de Im em relação ao Im médio anual observado (1966 - 2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040.....	69
<b>Figura 19.</b> Anomalias da Evapotranspiração Potencial (mm): (a) El Niño e (b) La Niña.....	70
<b>Figura 20.</b> Anomalias da Evapotranspiração Real (mm): (a)El Niño e (b) La Niña.....	71
<b>Figura 21.</b> Anomalias do Excedente Hídrico (mm): (a)El Niño e (b)La Niña.....	71
<b>Figura 22.</b> Anomalias do Armazenamento de Água no Solo (mm): (a) El Niño e (b) La Niña.....	72
<b>Figura 23.</b> Anomalias do Índice de aridez (%): (a) El Niño e (b)La Niña.....	73
<b>Figura 24.</b> Anomalias do Índice Efetivo de umidade (%): (a)El Niño e (b) La Niña.....	73

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Classificações climáticas para a região da NEB, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário A2.....	29
<b>Tabela 2.</b>	Classificações climáticas para a região da NEB, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário B2.....	30
<b>Tabela 3.</b>	Classificação do Índice de Aridez segundo estudo de Ometto.....	40
<b>Tabela 4.</b>	Classificação climática com base no índice Efetivo de Umidade.....	41
<b>Tabela 5.</b>	Comparação dos métodos de Interpolação.....	41
<b>Tabela 6.</b>	Balanço Hídrico para o RN e PB, com dados médios climatológicos para o período de 1966 a 2003 (Cenário atual).....	82
<b>Tabela 7.</b>	Balanço Hídrico para o RN e PB utilizando dados dos Cenários de Temperatura do ar e Precipitação do IPCC (para o período de 2011 à 2040).....	84
<b>Tabela 8.</b>	Tabela 8. Anomalias componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 3,0°C na Temperatura do ar e aumento de 20% na Precipitação.....	86
<b>Tabela 9.</b>	Anomalias das componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 3,0°C na Temperatura do ar e redução de 20% na precipitação.....	88
<b>Tabela 10.</b>	Anomalias das componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 1,5°C na Temperatura do ar e aumento de 20% na precipitação.....	90
<b>Tabela 11.</b>	Anomalias das componentes do Balanço Hídrico com um aumento de 1,5°C na Temperatura do ar e redução de 20% de Precipitação.....	92

## **LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

CCD - Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

NCEP - Centro Nacional de Previsão do Tempo para o Meio Ambiente

NEB – Nordeste do Brasil

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PNUD- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

SEVAP - Sistema de Estimativa de Evapotranspiração

UACA - Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

UNEP - Nações Unidas para Meio Ambiente

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul



## LISTAS DE SÍMBOLOS

A2 - altas emissões;  
ARM - armazenamento d'água (mm/mês);  
B2 - baixas emissões;  
BH – balanço hídrico;  
CC – capacidade de campo;  
CA- armazenamento de água  
CAD - capacidade de água disponível (mm);  
CPROFS - comprimento de profundidade do solo em mm  
DAPS - densidade aparente do solo  
DEF - deficiência d'água (mm/mês);  
ETP - evapotranspiração potencial (mm/mês);  
ETR - evapotranspiração real (mm/mês);  
EXC - excesso d'água (mm/mês);  
GEE – gases de efeito estufa  
Ia - índice de aridez (%);  
Im - índice de umidade efetiva (%);  
Nac – Negativo Acumulado;  
P - precipitação pluviométrica (mm/mês);  
Pr - precipitação  
PMP - ponto de murcha permanente  
T - temperatura média do ar (°C);  
TE - índice de eficiência térmica (%);

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à localização no extremo leste da América do Sul tropical, o Nordeste do Brasil (NEB) está submetido à influência de fenômenos meteorológicos, que lhe conferem características climáticas peculiares, únicas em semi-áridos de todo mundo. Com destaque para a variabilidade interanual da precipitação, que é devido, principalmente, à influência de fenômenos de grande escala resultantes da interação entre a atmosfera e os oceanos tropicais; além disso, em geral, a precipitação se concentra praticamente em um período de 3 a 5 meses, com grande variabilidade espacial e temporal em suas meso-regiões. Estas condições climáticas tornam-se mais agudas devido às peculiaridades geológicas do semi-árido, com extensas áreas com recobrimento do cristalino, que às vezes, afloram à superfície e possuem solos com baixa capacidade de armazenamento de água (SOUZA, 2001).

O semi-árido do NEB também é caracterizado como sendo uma região com alto potencial para evaporação da água, em função da grande disponibilidade de energia solar, altas temperaturas e baixa umidade do ar. É importante ressaltar que o aumento de temperatura, associado à mudança de clima, decorrente do aquecimento global, seria suficiente para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas (MARENGO, 2008), ou seja, se não há aumento no volume de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias conseqüências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional. Devido a esses fatores, a região vem sofrendo o processo de desertificação que, segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), consiste na “degradação de terras nas regiões semi-áridas e sub-úmidas secas, resultantes de atividades humanas e variações climáticas” (MARENGO, 2008).

Segundo Santos (2006), outros fatores que podem modificar o clima de uma região são o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. Esses fatores alteram o clima regional e em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semi-árido brasileiro, as mudanças climáticas mais drásticas poderão ocorrer através da soma das ações produzidas pelos Gases de Efeito Estufa (GEE) com o mau uso e desflorestamento dos ecossistemas locais.

Hastenrath e Greischar (1993) identificaram mudanças climáticas regionais através de uma avaliação de séries históricas de precipitação em uma rede de estações

bem distribuídas espacialmente sobre o NEB, mas não encontraram tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na região. Porém, recentemente, Haylock et al.(2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul e perceberam uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB.

De acordo com Camargo (1971), para se ter certeza que uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é preciso comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação que fornece a umidade para o solo e a evapotranspiração que consome a umidade do solo. Pereira et al. (2002), mostra que a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência, permitindo, assim, o planejamento das atividades agrícolas e a quantificação de irrigação.

Assim sendo, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto dos cenários futuros das mudanças climáticas nos componentes do balanço hídrico climático dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Especificamente, investigar mudanças na evapotranspiração potencial e real, umidade do solo, escoamento superficial e sub-superficial, índice de aridez e índice de umidade efetiva, utilizando informações de temperatura do ar e precipitação na elaboração de balanços hídricos (BH) climatológicos para o período de 1966 a 2003; projeções futuras de temperatura do ar na superfície e total anual de precipitação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC<sup>1</sup>) para o NEB; projeções com aumento de 1,5°C e 3,0°C da temperatura média do ar e aumento e redução da precipitação média anual em 20%. Outro objetivo é verificar também a variabilidade interanual climática através do balanço hídrico para um período de *La Niña* e outro de *El Niño*.

---

<sup>1</sup> Sigla em inglês de Intergovernmental Panel on Climate Change

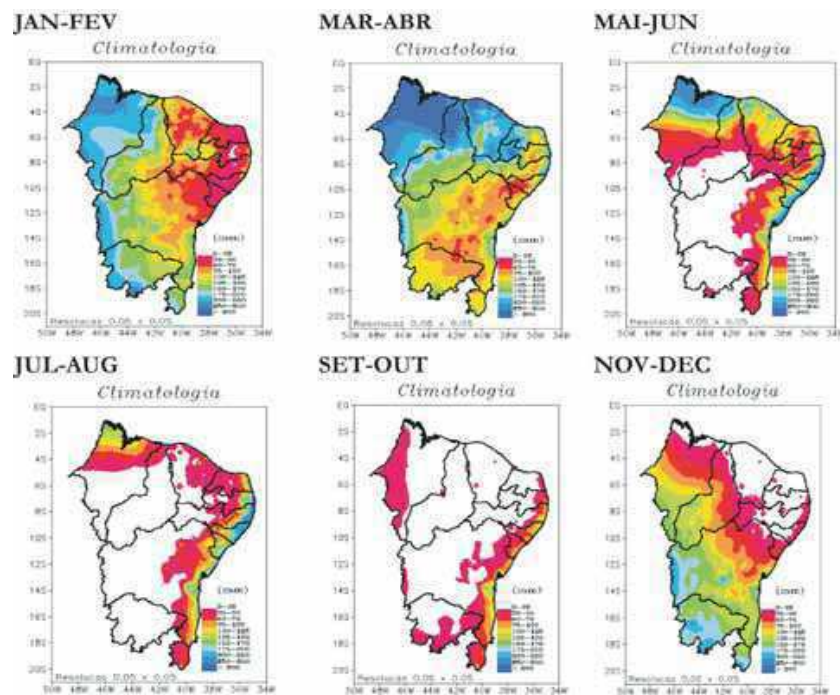
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Climatologia da Região

A variabilidade interanual da distribuição de chuvas no NEB, tanto em escala espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico (MOLION E BERNARDO, 2002).

Os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no NEB podem ser classificados em mecanismos de grande escala, responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local, e mecanismos de meso e micro escalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismos de grande escala, destacam-se os sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT). Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisa marítima e terrestre fazem parte da mesoescala, dos sistemas sinóticos o Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem-se fenômenos da microescala.

A Figura 1 mostra os totais bimensais de chuva no NEB. Os tons em vermelho representam menor volume de chuva e os tons azuis mostram maior volume de chuva, segundo a escala de cor à esquerda do mapa (em mm durante dois meses). A área mais afetada pela falta de chuvas é o Polígono das Secas, uma área de mais de 1 milhão de km<sup>2</sup>, onde vivem mais de 27 milhões de pessoas, espalhados em oito Estados nordestinos (exceto o Maranhão) e norte de Minas Gerais (NAE 2005, APUD MARENGO E SILVA DIAS, 2007).



**Figura 1** - Climatologia bimestral de chuva do Brasil (1970-1990). (Fontes: NMRH-AL, SRH-BA, Funceme-CE, SEAG-ES, SEMARH/LMRS-PB, SECTMA/DMRH-PE, SIMGE-MG, SEAAB-PI, EMPARN-RN, Cepas-SE, CMCD/INPE, INMET).

De acordo com Nobre E Molion (1988), a semi aridez do NEB é devida à adjacência à Região Amazônica, onde ocorrem movimentos convectivos amplos e intensos, sendo um dos ramos ascendentes da Circulação de Walker. O ar ascendente sobre a Amazônia adquire movimento anticiclônico nos níveis altos (Alta da Bolívia), diverge e, parte dele, desloca-se para leste, criando o ramo descendente e uma forte inversão psicotérmica. O centro de subsidência se posiciona sobre o Atlântico Sul, porém se estende para oeste, por sobre o NEB. Esse centro está próximo da costa da África (33°S;0°) no verão e se desloca para próximo da costa do Brasil (27°S; 15°W) no inverno, seguindo a direção SE-NW (HASTENRATH, 1985). Quando está mais próximo do Brasil, todo o Centro Oeste, o sul da Amazônia e o NEB, com exceção da costa do ENE, apresentam o período mais seco do ciclo anual.

Na região do NEB, destacam-se a ZCIT, pela influência direta na estação chuvosa no norte do NEB. A sua posição mais ao sul ocorre nos meses de março e abril, com máximos de precipitação entre 1000 e 1200 mm/ano (HASTENRATH E HELLER, 1977). No sul do NEB tem-se como principal mecanismo de precipitação, os sistemas frontais estacionários alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, que definem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os sistemas pré-frontais, convecção local e brisas marítimas e terrestres. Nesta região os índices pluviométricos

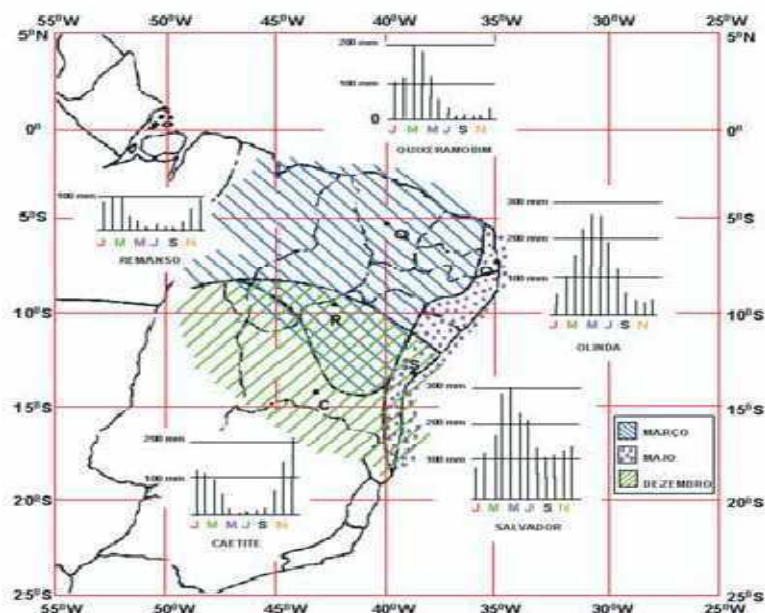
variam de 300 mm ano<sup>-1</sup>, no interior, a mais de 3000 mm ano<sup>-1</sup> no litoral. O máximo de precipitação pluvial no sul da região está associado à penetração de frentes frias vindas do sul que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro (ALVES E KAYANO, 1991). Esta região também tem, como principal característica climática, a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, determinada, sobretudo por padrões de grande escala da circulação geral da atmosfera, associada às características locais de topografia (NOBRE E MOLION, 1988).

Os VCAN são exemplos de sistemas, que por sua persistência e deslocamento têm um papel importante no regime de precipitação de regiões dos trópicos e extratropicais, além de contribuírem nas trocas de energia entre ambas as regiões (RAMIREZ, 1997). Os VCAN atuando no NEB, são sistemas que se desenvolvem nas latitudes tropicais do Oceano Atlântico Sul (KOUSKY E GAN, 1981; MISHA ET AL., 2001) e de acordo com experiências sinóticas podem ocasionar secas em algumas regiões ou inundações em outras, dependendo da posição sobre a área afetada (SILVA, 2005). Kousky e Gan (1981) observaram formação de VCAN nessa mesma região e também em áreas continentais, como a costa leste brasileira. Esses vórtices formam-se de Setembro a Abril, segundo Kousky e Gan (1981) e Gan (1983), a frequência desse sistema é maior nos meses de verão, especialmente em janeiro, estação do ano em que eles mais perduram com cerca de 7,1 dias em média (RAMIREZ, 1997).

A faixa costeira do ENE (até 300 km do litoral) se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, também conhecida como Zona da Mata, e apresenta clima quente e úmido com totais pluviométricos anuais variando de 600 a 3.000 mm. O período mais chuvoso vai de abril a julho, com o pico de chuvas em maio (postos de Olinda e Salvador), existem várias explicações para isso. Para Kousky (1979), o máximo de chuvas está ligado à maior atividade de circulação de brisa marítima que advectaria bandas de nebulosidade para o continente e à ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa. Sugeriu, ainda, que esse máximo de chuvas estaria possivelmente associado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior. Cohen et al. (1989) descreveram as perturbações costeiras, associadas à brisa marítima, e sugeriram que as perturbações são o fator principal para o máximo pluviométrico junto à costa em maio-junho. Tais linhas tinham uma largura de até 170 km, 68% apresentaram um tempo de duração entre

6-12h e o número máximo de linhas formadas na costa ocorreu no mês de julho, com um máximo secundário em abril. Por sua vez, Ferreira et al. (1990) observaram que a maior frequência de ocorrência destes distúrbios ondulatórios se deu no trimestre março a maio (MAM), seguido dos trimestres SON e JJA e, por último, do trimestre DJF. As características dos distúrbios, porém, foram distintas em MAM e JJA. Cavalcanti e Kousky (1982) sugeriram que essas linhas preferencialmente se formam entre 5°S e 10°S e se propagam na taxa de 8 a 10° de longitude por dia.

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da precipitação mensal, em que na média de longo tempo a precipitação total mensal atinge o valor máximo, e também mostra o histograma da distribuição anual da precipitação para cinco estações representando diferentes regimes pluviométricos do NEB. Os dados utilizados são para o período de 1931 a 1960. A localização das estações está indicada pelas letras Q (Quixeramobim), O (Olinda), S (Salvador), C (Caetité) e R (Remanso).



**Figura 2-** Distribuição espacial do mês no qual a precipitação média mensal atinge o máximo e histogramas da distribuição anual de precipitação. Fonte: CPTEC/INPE.

Em particular, segundo o levantamento da Ambiente Brasil (2007), no Estado do RN observa-se a ocorrência de três tipologias climáticas distintas em cada região.

1. Tropical úmido, no litoral leste em uma faixa de aproximadamente 80 quilômetros com temperaturas médias de aproximadamente 24°C; os índices

pluviométricos registrados são superiores a 1.200mm/ano decaindo no sentido costa-interior onde atinge 800 mm/ano.

2. Tropical semi-úmido, no extremo oeste do Estado, com chuvas precipitando durante o outono e temperaturas elevadas. Nas regiões serranas (sudoeste) o volume ultrapassa os 800 mm/ano.
3. É o Semi-árido quente, suas temperaturas médias são de aproximadamente 26°C, enquanto que as chuvas são irregulares ocasionando períodos de seca, índices inferiores a 600 mm/ano são registrados.

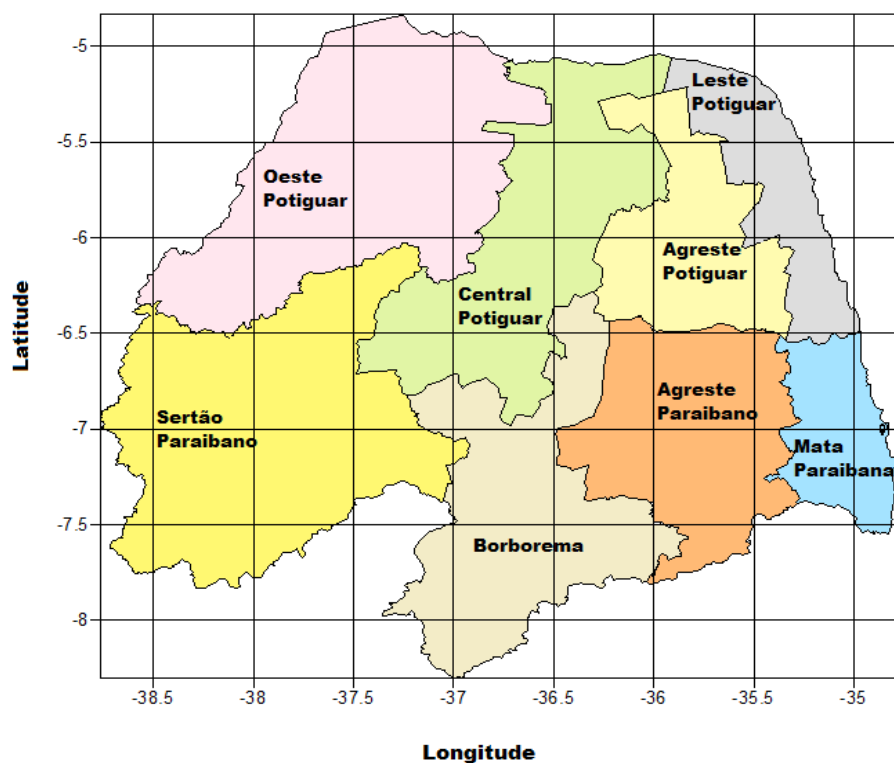
No Estado da PB, o clima predominante é caracterizado por altas temperaturas e chuvas escassas e irregulares, variando de acordo com o relevo. Na porção interior do Estado predomina o clima semi-árido; os índices pluviométricos nesta região variam bastante, pois, atingem valores inferiores a 400 mm/ano, na parte central, e em torno de 900 mm/ano, no extremo oeste do Estado. No litoral o clima é caracterizado como tropical chuvoso; as precipitações atingem valores superiores a 1.700mm/ano. Ressalta-se que os índices pluviométricos da parte central do Estado estão entre os mais baixos do país. As temperaturas médias anuais no território Paraibano variam de 21,3°C, nas áreas serranas, a 27,3°C, na depressão sertaneja, com valor médio anual para o Estado como um todo de 24,6°C.

Para facilitar as análises e estudos sobre os diversos aspectos dos Estados da federação, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE<sup>2</sup>) dividiu o território brasileiro em mesorregiões. A PB e RN foram divididos em quatro mesorregiões cada um, a Figura 3 mostra as posições geográficas das mesorregiões dos dois Estados.

---

<sup>2</sup> <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/mesorregiao.html>





**Figura 3-** Mesorregiões dos Estados do RN e PB (Escala: 1: 4.600.000). FONTE: (IBGE, 2010)

## 2.2 IPCC

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em uma ação conjunta da Organização Meteorológica Mundial (OMM ou WMO, em inglês) e do programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (UNEP), em 1988. O IPCC é aberto a todos os países membros da UNEP e da OMM, e se reúne normalmente em sessões plenárias uma vez por ano. Estas sessões decidem a estrutura, princípios, procedimentos e programa de trabalho do IPCC, além de eleger a presidência de suas comissões. Também é responsável por definir o escopo dos relatórios do IPCC e aceitá-los.

O IPCC não conduz nenhuma pesquisa científica propriamente, mas revisam milhares de documentos sobre mudanças climáticas publicadas na literatura especializada todos os anos e resume o “nível de conhecimento” sobre o assunto em Relatórios de Avaliação que são publicados a cada cinco anos, em média. Todos os cientistas e especialistas envolvidos em produzir e revisar o trabalho do IPCC o faz de forma voluntária (IPCC, 2001).

O IPCC está dividido em três Grupos de Trabalho, onde o primeiro grupo: “avalia os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas”. Ou seja, responde sobre o que se sabe das mudanças climáticas – se está acontecendo, por que está acontecendo e em que velocidade ocorreu ou está ocorrendo. O segundo grupo: “avalia a vulnerabilidade dos sistemas sócio-econômicos e naturais das mudanças climáticas, conseqüências negativas e positivas das mudanças climáticas e as opções de adaptação”. Em outras palavras, revela os impactos das mudanças climáticas na vida das pessoas e no meio ambiente, e que mudanças podem reduzir estes impactos. E, por fim o terceiro grupo: “avalia opções para limitar as emissões de gases do efeito estufa e, assim, mitigar as mudanças climáticas”. Isto é, observa maneiras pelas quais se pode barrar as mudanças climáticas induzidas pelo homem, ou ao menos, desacelerá-las.

Segundo Abreu (2000), a ferramenta utilizada atualmente para a investigação destas possíveis mudanças climáticas são os chamados Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Estes modelos descrevem a atmosfera de forma global, utilizando equações matemáticas para prescrever as leis físicas que regem a atmosfera. De acordo com a mesma autora, tais modelos são importantes para que se possa avaliar as implicações de uma mudança na composição química da atmosfera. Mesmo existindo toda uma credibilidade envolvendo o IPCC, em função de que em suas reuniões estão presentes cientistas do mundo inteiro, representando diferentes áreas do conhecimento, e que utilizam os MCGAs para a elaboração de cenários de mudanças climáticas devido ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, alguns cientistas colocam em dúvida as afirmações de seus Relatórios de Avaliação.

Estudos de Marengo (2006) apontam fontes de incertezas na modelagem de clima para fazer projeções de clima futuro em nível global e regional na atual geração de modelos usados pelo IPCC, que devem ser considerados, a saber:

    Incerteza nas emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis e das atividades vulcânicas e solares que afetam o forçamento radiativo do sistema climático;

    Incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico nas plantas e do efeito do comportamento das plantas no clima futuro;

    Incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos, devido às diferentes formas em que cada modelo de circulação geral da atmosfera representa os processos físicos e os mecanismos de sistema climático.

Mesmo assim, devido ao seu grau de responsabilidade, o IPCC continua a apresentar cenários confiáveis de mudanças climáticas, bem como, diagnósticos das condições atuais do clima. Já que se trata disso, o relatório do IPCC de 2001 aponta o século XX como o mais quente do milênio, pois em grande parte, à atividade econômica humana (usinas de energia e automóveis), responsável pela emissão de GEE (principalmente o CO<sub>2</sub>), cujo acúmulo favorece o aquecimento global. Existem, porém, argumentos contrários ao aumento da temperatura e, segundo Molion (1995; 2001), é provável que os MCGAs não sejam adequados para tais previsões, embora eles sejam, no presente, as únicas ferramentas disponíveis para este tipo de estudo.

O IPCC conclui no seu Terceiro Relatório de Avaliação – TAR (IPCC 2001) que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em  $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  durante o século XX. Os modelos globais analisados pelo IPCC têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1,4 e 5,8°C, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos.

### **2.3 Balanço Hídrico**

O BH é um método climatológico, bastante prático e racional, introduzido por Thornthwaite para a quantificação e estudo em bases realistas do fator hídrico. É baseado na comparação dos valores mensais da precipitação pluvial com os correspondentes da evapotranspiração potencial, ou seja, da precipitação teoricamente necessária na região considerada.

O NEB sofre, constantemente, com a escassez de água. No entanto, em algumas regiões, o problema não é o total anual de precipitação pluviométrica que em média é elevado e sim a irregularidade da distribuição da mesma durante o ano. A análise do BH climatológico em regiões distintas do NEB justifica-se devido à necessidade da racionalidade no uso dos recursos hídricos.

Segundo Pereira et al. (2002) o BH climatológico é a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado. A variação do armazenamento de água no volume considerado ( $\Delta \text{ARM}$ ), por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água dentro do volume de controle. Admite-se que esse volume de controle seja representativo de toda a área em estudo, e no caso do BH climatológico essa área é

aquela representada pelo ponto de medida dos elementos climáticos, principalmente a chuva.

O BH climatológico descrito por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das diversas maneiras de se monitorar o armazenamento de água no solo. Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, simbolizado pelas chuvas (P), da demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração potencial (ETP), e com uma capacidade de água disponível do solo (CAD), o mesmo fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídrico, e do armazenamento de água no solo (ARM), em escala diária mensal, ou decendial.

Salati *et al.* (2007) apresentaram uma comparação entre resultados do BH realizado para a Região NEB com os dados médios de precipitação e temperatura do ar, obtidas pelas “normais climatológicas” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1961 a 1990, e o BH utilizando os dados médios de temperatura e precipitação estimados pela média dos modelos *Atmosphere Ocean General Circulation Models* (AOGCMs) do IPCC: *Hadley Centre for Climate Prediction and Research*, da Inglaterra (HadCM3), *National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA-Geophysical Fluids Dynamic Laboratories* (GFDL-CM2); *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis* (CCCMA), *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO-Mk2) e *Center for Climate Studies and Research/National Institute for Environmental Studies* (CCSR/NIES).

As comparações obtidas por Salati *et al.* (2007) foram feitas para os períodos: 2011 a 2040 (centrado em 2025), 2041 a 2070 (centrado em 2050) e 2071 a 2100 (centrado em 2075) e para dois cenários: A2 - Alta Emissão (Tabela 1) (“é aquele que descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Outras características são um crescimento populacional alto e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido” (MARENGO E SILVA DIAS, 2006) e B2 – Baixa Emissão (Tabela 2) (“é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para as sustentabilidades econômica, social e ambiental.” (MARENGO E SILVA DIAS, 2006).

O BH obtido pelo o modelo HadCM3, para os dois cenários analisados (A2 e B2) indicaram que não haverá excesso de água na região do NEB para os períodos de 2011 a 2100. Já o BH realizado com o modelo GFDL apresentou grande diferença entre

os cenários analisados (A2 e B2). Para o cenário A2, os dados indicaram que haverá um grande aumento (58,2%) do excesso de água na região no período de 2011 a 2100, diminuindo até 2100 com excesso nulo, quando comparados com o período de 1961 a 1990. Para o cenário B2, os dados indicaram que haverá um aumento constante do excesso de água na região de 2011 a 2100 de até 54,5%.

Os dados dos BH realizados com as médias dos valores dos modelos HadCM3, GFDL, CCCma, SCIRO e NIES, para os dois cenários analisados (A2 e B2) indicaram que haverá uma diminuição do excesso de água na região de até 10,0 % para o período de 2011 a 2100 (SALATI ET AL. 2007).

**Tabela 1** - Classificações climáticas para a região da NEB, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário A2.

Período/Modelo	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
Dados Observados (NC)* 1961 a 1990	1079,2	1424	38,0	382	27,1	2,7	-13,56	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
<b>Modelo GFDL</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1168,8	1626,5	219,4	677,1	41,6	13,5	-11,49	< 48	C <sub>1</sub> w A'a'
2041 a 2070	1040	1807	53,0	820,1	45,4	2,9	-24,3	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2071 a 2100	843,8	1949,4	0,0	1105,6	56,7	0,0	-34,03	< 48	Dd A'a'
<b>Modelo HadCM3</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1074	1593,2	0,0	519,2	32,6	0	-19,55	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2041 a 2070	942,2	1766,21	0,0	824	46,7	0,0	-27,99	< 48	Dd A'a'
2071 a 2100	731	1924,6	0,0	1193,6	62	0,0	-37,21	< 48	Dd A'a'
<b>Média dos Modelos</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1241,6	1561,8	57,5	377,7	24,2	3,68	-10,83	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2041 a 2070	1234,6	1700,5	13,6	479,4	28,2	0,8	-16,12	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2071 a 2100	1228,6	1882	0,0	653,4	34,7	0,0	-20,83	< 48	Dd A'a'

**Fonte:** Salati et al. (2007).

\* Normais climatológicas

E que:

P = Precipitação anual (calculada no BH), ETP = Evapotranspiração Potencial anual (calculada no BH), EXC = Excesso de água anual (calculado no BH), DEF = Déficit de água anual (calculado no BH), Ia = Índice de Aridez ( $Ia = 100 * (DEF/ETP)$ ), Iu = Índice de Umidade ( $Iu = 100 * (EXC /ETP)$ ), Im = Índice Efetivo de Umidade ( $Im = Iu - 0,6 Ia$ ), TE = Índice de Eficiência Térmica: calculado pela somatória da evapotranspiração dos meses de verão dividida pela evapotranspiração anual.

**Tabela 2-** Classificações climáticas para a região da NEB, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário B2.

Período/Modelo	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
Dados Obseados (NC)* 1961 a 1990	1079,2	1424	38,0	382	27,1	2,7	-13,56	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
<b>Modelo GFDL</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1345,4	1547,1	129,9	331,5	21,4	8,4	-4,46	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2041 a 2070	1508,2	1657,1	198,7	347,5	21	12,0	-0,591	< 48	C <sub>1</sub> w A'a'
2071 a 2100	1586,9	1741,6	201,9	356,6	20,5	11,6	-0,692	< 48	C <sub>1</sub> w A'a'
<b>Modelo HadCM3</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1026	1585,9	0,0	559,9	35,3	0	-21,18	< 48	Dd A'a'
2041 a 2070	957,3	1695,7	0,0	738,4	43,5	0,0	-26,13	< 48	Dd A'a'
2071 a 2100	760,6	1818,4	0,0	1057,8	58,2	0,0	-34,9	< 48	Dd A'a'
<b>Média dos Modelos</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>DEF (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Iu (%)</b>	<b>IM (%)</b>	<b>TE (%)</b>	<b>Fórmula Climática</b>
2011 a 2040	1198,9	1564	25,0	390,1	24,9	1,6	-13,37	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2041 a 2070	1235,1	1670	18,0	452,9	27,1	1,1	-15,19	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'
2071 a 2100	1227,8	1776,5	0,0	548,8	30,9	0,0	-18,54	< 48	C <sub>1</sub> d A'a'

**Fonte:** Salati et al. (2007).

\* Normais climatológicas

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

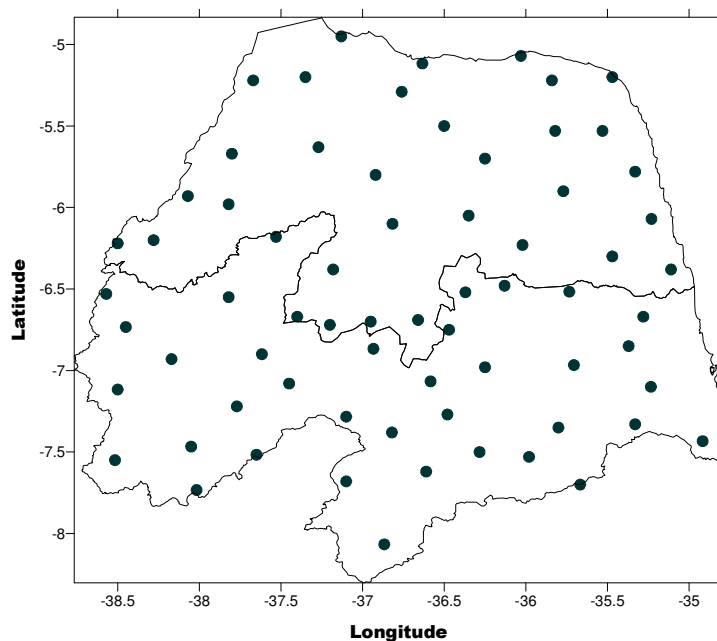
#### **3.1 Localização**

Os Estados do RN e PB ocupam a parte do extremo oriental setentrional do NEB, compreende nove Estados da Federação e ocupa uma área superior a 1,5 milhão de km<sup>2</sup>; o clima semi-árido corresponde a 60% de sua área total com precipitação pluvial média anual inferior a 500 mm ano<sup>-1</sup> em algumas localidades. Estudos recentes indicam que esta região vem sofrendo com fortes variabilidades climáticas (PIMENTA ET AL., 1998; SILVA, 2004; SOUSA JÚNIOR, 2006). Assim, em grande parte do semi-árido brasileiro, a agricultura não-irrigada pode se tornar ainda mais inadequada para a prática da agricultura de subsistência (SIQUEIRA, O. J. F. DE; FARIAS, J. R. B. DE; SANS, L. M. A., 1994).

##### **3.1.1 Dados**

##### **3.1.2 Dados básicos observados e estimados**

Neste estudo, foram usados dados observados de precipitação mensal de postos pluviométrico dos Estados da PB e RN para o período de 1966 a 2003, cedido pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e geograficamente distribuídos conforme da Figura 4. Já os dados de temperatura do ar como são mais escassos e difíceis de obter-se que os da temperatura da água do mar, os cientistas que monitoram o clima da terra têm utilizado as temperaturas da superfície do mar em substituição à temperatura do ar, assumindo que as duas temperaturas aumentam e diminuem proporcionalmente. O conhecimento da temperatura do ar é fundamental em várias áreas de pesquisa, principalmente em meteorologia, oceanografia, climatologia e hidrologia. Entretanto, em sua maioria os modelos de estimativa de temperatura do ar dão apenas a média climatológica mensal, os quais não expressam a variação desse elemento climático ao longo do tempo. (CAVALCANTI E SILVA, 1994; SILVA ET AL., 2006 e CAVALCANTI ET AL., 2006). Portanto, foram obtidas as médias mensais de temperatura do ar através do software Estima-T de janeiro de 1966 até outubro de 2003, na qual teve como entrada as anomalias de temperatura das águas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais, a latitude, longitude e altitude das 68 localidades (Figura 4) em estudo, sendo trinta e duas estações para o Estado do RN e trinta e seis para a PB.



**Figura 4.** Distribuição espacial das 68 estações convencionais do RN e PB.

### 3.1.3 Outros dados utilizados

As anomalias mensais das projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o NEB para o período de 2011 a 2040, disponibilizadas no sítio<sup>3</sup>, foram adicionadas as temperatura do ar e precipitação média mensal para o período de 1966 a 2003, respectivamente. Com isto, foi elaborado um conjunto de 12 configurações mensais, de janeiro a dezembro, da temperatura do ar e da precipitação, denominado de projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040. Essas anomalias projetadas são geradas pelo modelo Eta no CPTEC/INPE para uso de estudos sobre cenários futuros, foram usadas para encontrar as temperaturas e precipitações pluviais estimadas, e depois usadas no cálculo de seis variáveis do BH climatológico para os cenários.

Também foram elaborados mais dois conjuntos de 12 configurações mensais de temperatura do ar, um somando 1,5°C às temperaturas médias mensais do período de 1966 a 2003, denominado de cenário otimista, ou “B2”, por está mais próximo das projeções do cenário B2 do IPCC, e o outro somando 3,0°C às temperaturas médias

<sup>3</sup> <http://pnud.cptec.inpe.br/>



mensais do período de 1966 a 2003, denominado de cenário “A2”, por está mais próximo das projeções do cenário A2 do IPCC.

Outros dois conjuntos de 12 configurações mensais, de janeiro a dezembro, foram estimados para a precipitação. O primeiro foi construído a partir da média atual (média climatológica mensal do período de 1966 a 2003) somada a 20% da própria média, e o segundo foi elaborado subtraindo 20% da média atual, ou seja, correspondente a 80% de cada valor mensal.

## **3.2 Metodologia**

### **3.2.1 Balanço Hídrico Climatológico**

Foram elaborados oito cenários de BH, a saber, (1) utilizando os dados médios mensais de temperatura do ar e precipitação para o período de 1966 a 2003, denominado de cenário observado; (2) temperatura do ar média mensal adicionada de 1,5°C e precipitação mensal somada a 20% da própria precipitação mensal, cenário T+1,5°C e P+20%P; (3) temperatura do ar média mensal adicionada de 1,5°C e precipitação mensal subtraída de 20% da própria precipitação mensal, cenário T+1,5°C e P – 20%P; (4) temperatura do ar média mensal adicionada de 3,0°C e precipitação mensal somada a 20% da própria precipitação mensal, cenário T+3,0°C e P+20%P; (5) temperatura do ar média mensal adicionada de 3,0°C e precipitação mensal subtraída de 20% da própria precipitação mensal, cenário T+3,0°C e P – 20%P; (6) temperatura do ar média mensal atual (climatologia de 1966 a 2003) somada da anomalias de temperatura das projeções do IPCC para o período de 2011 a 2040 e precipitação média mensal atual (climatologia de 1966 a 2003) somada da anomalias de temperatura das projeções do IPCC para o período de 2011 a 2040, denominado de cenário estimado; (7) temperatura do ar média mensal dos meses de ocorrência de evento El Niño no período de 1966 a 2003 e precipitação média mensal dos meses de ocorrência de evento El Niño no período de 1966 a 2003<sup>4</sup>, denominado de cenário de El Niño; (8) temperatura do ar média mensal dos meses de ocorrência de evento La Niña no período de 1966 a 2003 e precipitação

---

<sup>4</sup> Períodos de El Niño moderado ou forte determinado pelo NCEP (National Centers for Environmental Prediction – Em português Centros Nacionais para Previsão Ambiental).

média mensal dos meses de ocorrência de evento La Niña no período de 1966 a 2003<sup>5</sup>, denominado de cenário de La Niña.

O BH foi calculado no programa em Excel<sup>TM</sup> que foi elaborado por Rolim *et al.* (1998), a qual utiliza a metodologia de Thornthwaite e Mather (1957) com as modificações de Krishan (1980). Esse programa permite de forma simples e rápida a obtenção do BH climatológico, necessitando, como variáveis de entrada, da precipitação, temperatura do ar, latitude e da capacidade de água disponível (CAD) de cada localidade, pois é um parâmetro que depende apenas do solo.

Com esse programa foram obtidos, para cada estação meteorológica em estudo, valores médios anuais de algumas variáveis do BH: ARM, ETP, ETR, EXC, Ia e Im. Essas componentes foram calculadas a partir da precipitação pluvial e da temperatura do ar para os oito cenários já mencionados. A propósito, o cenário em que a temperatura média atual é adicionada de 3,0°C é uma condição mais próxima do cenário A2 do IPCC (cenário – altas emissões) e para a adição de 1,5°C é uma situação mais próxima do cenário B2 do IPCC (cenário – baixas emissões). Ressalta-se que estas considerações para os cenários A2 e B2 tiveram como base a temperatura média de seis modelos climáticos do IPCC (MARENGO, 2006). Com as variáveis hídricas para cada cenário, geraram-se campos de distribuições espaciais, além de campos da diferença entre esses cenários e as variáveis hídricas observadas.

Devido aos impactos dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* no comportamento oceânico e atmosférico da região NEB, o conjunto de dados de temperatura média do ar e precipitação média anual foi utilizado para os Estados do RN e PB, durante a ocorrência dos fenômenos *La Niña* (1973/74, 1975/76, 1988/89 e *El Niño* 1972/73, 1982/83, 1990/91, 1992/93, 1997/98<sup>6</sup>) para o cálculo das mesmas variáveis do balanço hídrico citadas anteriormente.

O BH idealizado por Thornthwaite & Mather (1957) considera que o solo oferece certa resistência às perdas de água para a atmosfera, e que esta aumenta com a redução da água armazenada no solo. Este método leva em conta que, quando ocorre, no período considerado, um saldo positivo entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, este é incorporado ao solo, reabastecendo-o e quando o solo atinge sua capacidade de armazenamento pleno, esse saldo passa a ser considerado excesso (escoamento e drenagem profunda).

---

<sup>5</sup> Períodos de La Niña moderado ou forte determinado pelo NCEP.

<sup>6</sup> <http://enos.cptec.inpe.br>

O negativo acumulado ( $Nac$ ) e  $ARM$  são calculadas simultaneamente, para facilitar o fechamento do balanço. Os primeiros cálculos para balanço hídrico anual com intervalo de tempo mensal são iniciados pelo último mês do período chuvoso, ou seja, o último mês em que a precipitação ( $Pr$ ) é superior à  $ETP$ . Considera-se, neste mês, denotado por  $j$ , o solo está plenamente abastecido de água, ou seja:

$$(Nac)_j = 0 \quad (1)$$

$$(ARM)_j = \text{lâmina de máximo armazenamento de água (CA)} \quad (2)$$

A lâmina de máximo armazenamento de água ( $CA$ ) foi tomada como sendo igual à máxima capacidade de retenção de água disponível pelo solo ( $CAD$ ). O  $CAD$  é definido como sendo a diferença entre a quantidade de água existente no solo na capacidade de campo ( $CC$ ) e a existente no ponto de murcha permanente ( $PMP$ ), que representa a quantidade de água máxima retida em determinado tipo de solo que está disponível às plantas ou evaporação. O  $CAD$  decresce de solo barro-limoso para solos como areia grossa e pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$CAD = \frac{(CC - PMP).DAPS.CPROFS}{100} \quad (3)$$

em que:  $CC$  e  $PMP$  são os conteúdos de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente;  $DAPS$  é a densidade aparente do solo e,  $CPROFS$  é o comprimento de profundidade do solo em mm.

A capacidade de campo corresponde a um conteúdo de umidade do solo, em que a força para extrair-lá seja apenas de  $-0,01$  Pa, e ocorre depois de uma chuva ou irrigação intensa haver cessado e a força ou potencial gravitacional ter deixado de predominar sobre a água do solo, o que faz com que o movimento da água decresça substancialmente no sentido vertical. A capacidade de campo pode ser determinada empiricamente ou em laboratório; no segundo caso, torrões do solo revestido de resina, através da qual os torrões podem entrar em contato com a areia úmida de uma mesa de tensão a serem equilibrados a  $0,01$  Pa. Depois do equilíbrio, a janela pode ser fechada novamente e a umidade dos torrões determinadas gravimetricamente.

As forças que retêm a água no solo aumentam com a diminuição de umidade. Assim, o solo pode atingir um estágio em que a água não mais passará do solo para as

raízes. Logo, a perda por evaporação excederá a entrada de água e as plantas atingirão o estado de murchamento, a partir do qual não se recuperarão, mesmo com o restabelecimento da umidade do solo. Nesse estado, a planta atingiu o seu ponto de murcha permanente, que ocorre quando o conteúdo de umidade do solo é tão baixo que até mesmo forças de -1,5 Pa são incapazes de extrair umidade do solo. Para determinar o ponto de murcha permanente no laboratório, uma amostra do solo é trazida ao equilíbrio de umidade a 1,5 Pa, no aparelho de membrana de pressão, e sua umidade determinada gravimetricamente.

A máxima capacidade de retenção de água disponível pelo solo pode ser grosseiramente avaliada, por método empírico, a partir do conhecimento da textura do solo; com prática, a composição do tamanho das partículas de um solo pode ser determinada friccionando-se uma amostra de solo úmido entre os dedos e decidindo-se subjetivamente sobre a proporção de material fino e grosso contido na amostra. A partir do conhecimento da classificação e espessura de cada horizonte de um solo, é possível estimar-se a capacidade máxima de retenção de água disponível, somando-se a capacidade de água disponível dos horizontes constituintes do solo.

### 3.2.1.1 Armazenamento de água no solo (ARM)

O solo é o armazenador e fornecedor de água e nutrientes às plantas. Por fenômenos de absorção e capilaridade, ele retém a umidade das chuvas que as plantas necessitam. Dependendo do conteúdo de água no solo, as plantas terão maior ou menor facilidade em extrair água. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil para as plantas absorver a água. Isso porque vai aumentando a força de retenção. Por isso, nem toda água que o solo consegue armazenar está disponível às plantas.

A partir do mês  $j+1$ , ou seja, no primeiro mês em que ocorre  $Nac$ , o solo começa a perder água. A água que está no solo é uma função do  $Nac$  e da máxima capacidade de água disponível, é dada pelas seguintes expressões conforme modificação sugerida por Krishan (1980):

$$(Nac)_{j+1} = (Nac)_j + (Pr - ETP)_{j+1} \quad (4)$$

$$(ARM)_{j+1} = CAD \cdot \exp((Nac)_{j+1} / CAD) \quad (5)$$

Após o período em que  $Pr-ETP$  é menor que zero, ou seja, no primeiro mês em que  $(Pr-ETP)$  é positivo, inicia-se a reposição de água no solo. Nesses meses o

armazenamento de água no solo ARM é obtido adicionando o valor de ARM do mês anterior ao valor de Pr-ETP do mês considerado, ou seja:

$$(ARM)_j = (Pr-ETP)_j + (ARM)_{j-1} \quad (6)$$

isto significa que a parte de precipitação não consumida pela evapotranspiração do mês considerado, junta-se ao armazenamento já existente do mês anterior. Se  $(ARM)_j$  for menor que CA, o  $(Nac)_j$  é calculado pela seguinte equação, já incluídas as modificações sugeridas por KRISHAN (1980):

$$(Nac)_j = CAD \cdot \ln((ARM)_j / CAD) \quad (7)$$

Quando o resultado da equação (6) for igual ou superior à capacidade máxima de água disponível, o valor de  $(ARM)_j$  será correspondente a essa capacidade, o excedente considerado excesso e o solo considerado plenamente abastecido. Neste caso  $(Nac)_j$  é nulo. Nos casos em que, após o período mais chuvoso (meses consecutivos em que  $(Pr-ETP) > 0$ ) a soma de  $(Pr-ETP)$  deste período for inferior a CA, inicia-se o balanço no último mês em que  $(Pr-ETP) > 0$ , denominado mês k.  $(ARM)_k$  é soma  $(Pr-ETP)$  do período chuvoso e  $(Nac)_k$  é calculado pela equação (7).

Quando, pelo procedimento acima, o valor do armazenamento do mês k,  $(ARM)_k$ , não atinge a lâmina máxima considerada, deve-se repetir o balanço, partindo-se novamente do mês k com o valor de  $(ARM)_k$  encontrado. Tal procedimento é repetido, até que o valor de  $(ARM)_k$  encontrado seja igual àquele utilizado para se iniciar o balanço o que significa fechar o balanço. A variação da quantidade de água armazenada no solo ( $\Delta ARM$ ) é sempre igual à ARM do mês j menos ARM do mês j-1.

### 3.2.1.2 Evapotranspiração Potencial (ETP)

Segundo Pennam (1956), a ETP é o total de água para uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água.

A ETP é um elemento climatológico fundamental, adotado por Thornthwaite, para indicar em milímetros de evaporação, a disponibilidade de energia solar, na região, para promover a evaporação e transpiração numa superfície natural totalmente vegetada e bem suprida de umidade no solo. A ETP corresponde à chuva teoricamente necessária para atender ao consumo de água pela superfície vegetada, de forma a manter a folhagem sempre verde e turgescendo no período considerado. Algumas variáveis meteorológicas são fatores determinantes da evaporação e evapotranspiração. As

temperaturas do ar e da água estão grandemente associadas à radiação solar e, portanto, também se correlacionam positivamente com a evaporação.

Além de quantificar a chuva teoricamente necessária, elemento indispensável na comparação com a chuva real para levantamento do balanço hídrico, a evapotranspiração potencial é também um indicador eficiente do fator térmico.

O cálculo da ETP foi realizado pelo método de THORNTHWAITE (1948):

$$ETP = C_j \cdot 1,6 \left( \frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (8)$$

Em que:

ETP = evapotranspiração potencial;

$C_j$  = fator de ajuste em função da latitude e mês do ano;

T = temperatura média mensal, em °C;

I – índice de calor anual.

O índice de calor anual é calculado pela seguinte equação:

$$I = \sum_1^{12} \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (9)$$

O valor de  $a$  é dado pela função cúbica do índice anual:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7292 \times 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (10)$$

Os valores obtidos pela fórmula de Thornthwaite são válidos para meses de 30 dias com 12 horas de luz solar por dia. Como o número de horas de luz por dia muda com a latitude e também porque há meses com 28 e 31 dias, torna-se necessário proceder a correções. Este fator de correção ( $C_j$ ) é obtido da seguinte forma:

$$C_j = \frac{h}{12} \times \frac{n}{30} \quad (11)$$

### 3.2.1.3 Evapotranspiração Real (ETR)

A ETR ocorre à medida que o solo vai secando, a perda de água pelo processo de evapotranspiração ocorrer abaixo de sua taxa potencial. A ETR é obtida da seguinte maneira:

a. nos meses em que a precipitação é inferior a evapotranspiração de referência, ETR é dada por:

$$(ETR)_j = (Pr) + (\Delta ARM_s)_j \quad (12)$$

b. nos meses em que a evapotranspiração de referência é menor ou igual a precipitação, ETR é dada por:

$$(ETR)_j = (ETP)_j \quad (13)$$

#### 3.2.1.4 Excedente Hídrico (EXC)

O EXC corresponde ao excesso de precipitação não absorvido pelo solo, por este já está com sua capacidade de armazenamento plenamente atingida, ou seja, somente há excesso a partir do momento em que o armazenamento atinge a capacidade de água disponível.

O EXC é dado por:

$$EXC = (Pr - ETP) - (\Delta ARM) + DEF \quad (14)$$

que representa a fração supérflua de água da chuva, que atravessa a zona das raízes quando o teor de umidade do solo está acima da capacidade de campo. É essa umidade que vai alimentar o lençol freático, constituir as reservas subterrâneas e alimentar as nascentes.

Caso seja observado que em todos os meses  $(Pr - ETP)$  foi menor que zero, o negativo acumulado não existirá, o armazenamento será nulo, a evaporação real será igual à precipitação, a deficiência hídrica será  $(ETP - ETR)$  e o excedente, nulo. Após a verificação dos resultados, calculam-se os índices climáticos.

#### 3.2.1.5 Índice de Aridez (Ia)

Expressa em porcentagem da ETP (necessidade). O conceito de deficiência também é o mesmo usado no balanço hídrico.

$$Ia = 100 \cdot \frac{\sum DEF_{anual}}{\sum ETP_{anual}} \quad (15)$$

É expressa a deficiência hídrica em porcentagem da ETP, varia de 0 a 100. Atinge o valor zero quando não existe déficit e 100 quando a deficiência é igual à

evapotranspiração potencial. Segundo Ometto (1981), quanto maior for o grau de aridez de uma localidade, mais tempo ao longo do ano ele se encontrará em condições de seca. A Tabela 3 mostra a classificação do  $I_a$ .

**Tabela 3-** Classificação do Índice de Aridez segundo estudo de Ometto.

CLASSIFICAÇÃO	$I_a$
NENHUM DÉFICIT DE ÁGUA	$I_a < 17$
DÉFICIT MODERADO	$17 < I_a < 33$
DÉFICIT MUITO FORTE	$I_a > 33$

(Ometto,1981)

### 3.2.1.6 Índice de umidade ( $I_u$ )

É o EXC, expresso em porcentagem da necessidade que é representada por sua vez pela ETP. Que é dada por:

$$I_u = 100 \times \frac{\sum EXC_{anual}}{\sum ETP_{anual}} \quad (16)$$

### 3.2.1.7 Índice efetivo de umidade ( $I_m$ )

Expressa em porcentagem o grau de umidade da região e a partir dele são classificados os tipos climático.

O índice de umidade efetiva é dada da seguinte maneira:

$$I_m = (I_u - 0,6 \times I_a) \quad (17)$$

Pela expressão, no campo do índice de umidade efetiva, o índice de aridez tem menor peso.

### 3.2.1.8 Classificação Climática

A classificação climática de Thornthwaite (1948) apóia-se em duas grandezas que são funções diretas da ETP, as quais são:  $I_m$  ou índice de eficiência térmica.

A Tabela 4 mostra os diferentes tipos climáticos correspondentes aos diversos valores do índice efetivo de umidade.



**Tabela 4** - Classificação climática com base no índice Efetivo de Umidade

Índice Efetivo de Umidade (Im)	Tipo de clima
$Im \leq -60$	Hiper-árido
$-60 < Im \leq -40$	Árido
$-40 < Im \leq -20$	Semi-árido
$-20 < Im \leq 0$	Seco
$0 < Im \leq 20$	Sub-úmido
$20 < Im \leq 100$	Úmido
$Im > 100$	Super-úmido

(Oliver, 1973)

### 3.2.2 Elaboração de Cenários.

Os mapas de distribuição espacial dos resultados foram elaborados no programa Surfer versão 8.0, pelo método “Kriging”. Onde a interpolação é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado. Existem vários métodos de interpolação como: Vizinho mais próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Mínima Curvatura (*Spline*), Regressão Polinomial, etc. O método aqui utilizado foi Krigagem, pois apresentam mais de 30 técnicas distintas, uma melhor visualização, espacialização dos resultados, assim como fidelidade aos dados originais, suavidade das curvas, precisão geral, etc. Landim (2000) mostra a comparação entre alguns desses métodos e “dicas e práticas” das vantagens e desvantagens de cada um e quando usar ou não.

**Tabela 5** – Comparação dos métodos de interpolação

Algoritmo	Fidelidade aos dados originais	Suavidade das curvas	Velocidade de computação	Precisão Geral
Triangulação	1	5	1	5
Inverso de distância	3	4	2	4
Superfície/ Tendência	5	1	3	2
Mínima Curvatura	4	2	4	3
Krigagem	2	3	5	1

1= MELHOR, 5 = PIOR

(Landim, 2000)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas avaliações dos campos de distribuições espaciais das variáveis de entrada (precipitação e temperatura do ar) e saída (ETP, ETR, ARM, EXC, Ia e Im) dos oito cenários do balanço hídrico climático descrito na seção 3.2.1.

### 4.1 Precipitação Pluvial

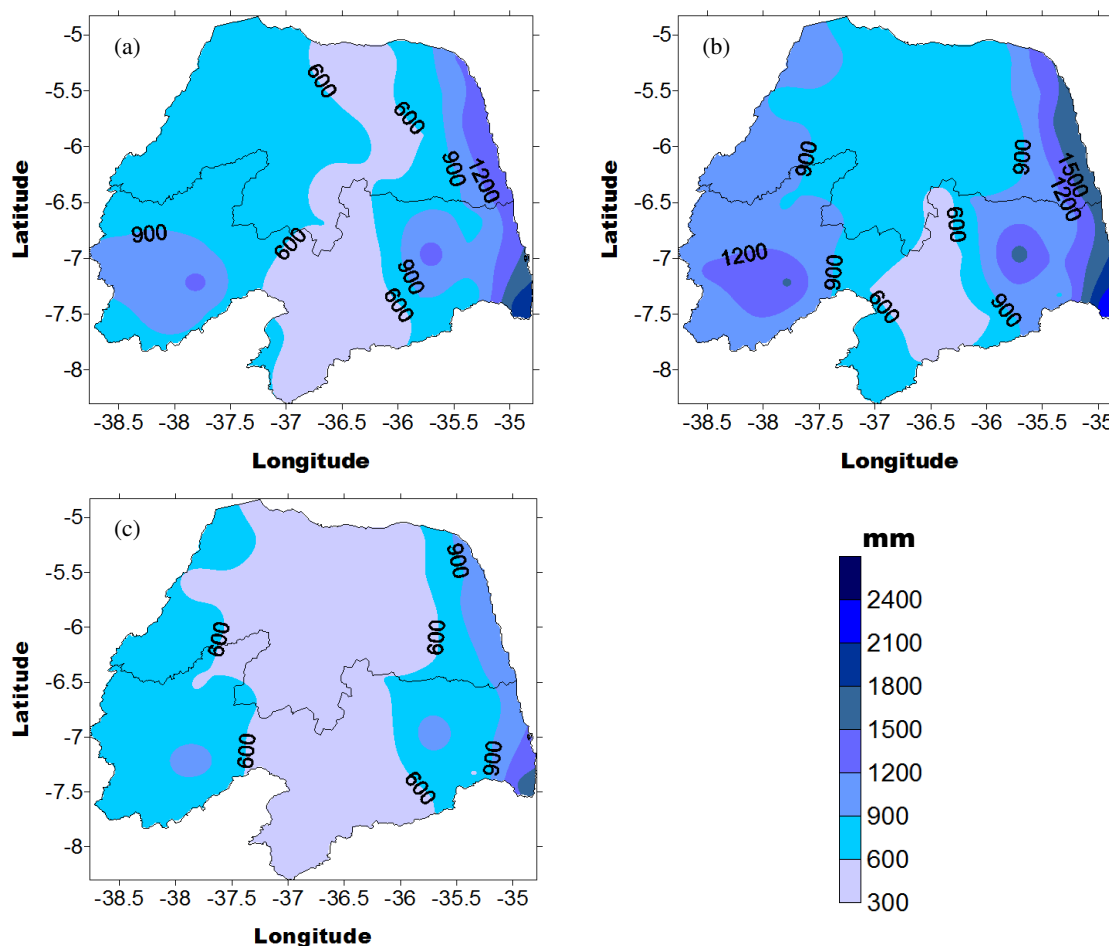
Analisando a Figura 5a, nota-se que os maiores valores de Precipitação pluvial observada encontram-se no leste Potiguar e na Zona da Mata Paraibana dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, respectivamente, com valores superiores a 900 mm/ano, sendo que um máximo de 1991 mm/ano é visto em Alhandra – PB. As localidades com menores valores de precipitação pluvial se encontram no Agreste Potiguar e parte da região Central, no Rio Grande do Norte, e nas regiões do Cariri e Curimataú, na Paraíba, nestas áreas são observados valores entre 370 e 476 mm/ano, já na região do Agreste e Sertão da Paraíba, observa-se dois núcleos com valores em torno de 740 a 1200 mm/ano. No Oeste potiguar, observam-se valores entre 600 e 900 mm/ano. Assim, as localidades onde ocorre precipitação mais significativa encontram-se em todo litoral leste dos dois Estados, enquanto que as localidades com quantidade menor de precipitação encontram-se na parte central do Planalto da Borborema.

As Figuras 5b e 5c apresentam as projeções da precipitação com aumento e outra com redução de 20% da precipitação observada. A (Figura 5b) apresenta valores de precipitação pluvial variando de 455 mm/ano a 2389 mm/ano para os dois Estados em estudo, sendo que os menores valores estão em torno de 455 a 500 mm/ano nas regiões do Cariri e Curimataú, na Paraíba, e de 600 a 900 mm/ano nas regiões Central e Agreste Potiguar, os maiores valores variam de 1648 a 2389 mm/ano em toda faixa do litoral leste dos dois Estados. A configuração espacial da (Figura 5c) mostra valores menores em relação a (Figura 5a) já que esta é para um cenário com redução de 20% da precipitação onde é visto valores em torno de 300 a 600 mm/ano no Cariri, Curimataú, parte do Agreste Paraibano, Central Potiguar e boa parte do Agreste e Oeste Potiguar, os maiores valores variam de 900 a 1800 mm/ano.

Comparando a (Figura 5b) com o cenário atual (Figura 5a), observa-se em média um aumento de 398 mm/ano na precipitação, já que esse cenário é com aumento de 20% na precipitação média. Já a comparação entre as projeções com redução em 20% da

precipitação (Figura 5c) e a precipitação atual (Figura 5a), verifica-se à redução média da precipitação em torno de 398 mm/ano.

E, como os maiores valores pluviométricos ocorrem na faixa litorânea leste e na parte oriental da região do Agreste e os menores valores são encontrados na parte central da Borborema. Essa distribuição caracteriza-se pela atuação de fenômenos meteorológicos que atuam na região nordeste ao longo do ano, os quais se destacam: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Sistemas Frontais, Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCANs) e Distúrbios de Leste (Sistemas de Brisas e ventos alísios de Sudeste), sendo atuação mais significativa na região litorânea dos Estados. Os totais das precipitações, em geral, declinam do litoral leste (2800 mm/ano) para o interior (240 mm/ano).

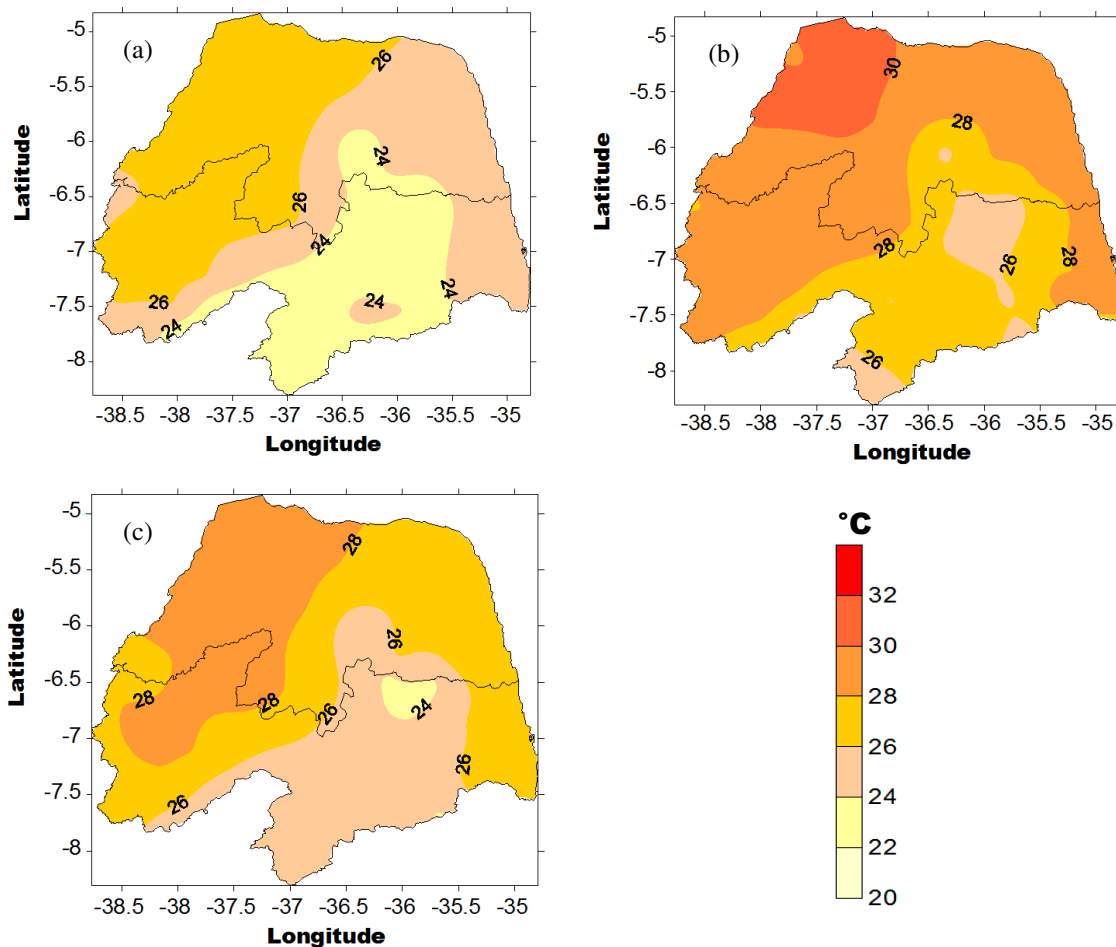


**Figura 5.** Distribuição espacial da (a) precipitação média (mm) anual observada para o período de 1966 a 2003; (b) projeções para cenários com aumento em 20% da precipitação observada nos Estados da PB e RN; (c) projeções para cenários com redução em 20% da precipitação observada nos Estados da PB e RN.

## 4.2 Temperatura média do ar

A (Figura 6a) mostra a distribuição espacial da temperatura média nos Estados do RN e PB para o período de 1966 a 2003. Observa-se que os maiores valores são vistos nas regiões a oeste dos Estados do RN e PB cuja variação é de 27°C a 27,5°C. Ou seja, representam as localidades do interior desses Estados, as que apresentam temperatura médias anual mais elevadas são Apodi – RN com 27,5°C e Mossoró – RN com 27,4°C. Os menores valores de temperatura média são vistos em Araruna – PB com 22,2°C e Umbuzeiro – PB com 22,3°C.

Caso haja aumento de 3,0°C na temperatura até 2100 (Figuras 6b), os Estados apresentarão maiores valores com 28°C no oeste da PB e variação entre 28 e 32°C no oeste do RN. Neste último Estado, nota-se que apenas a região centro sul apresentará menores valores de temperatura que variarão de 26 a 28°C. Se ocorrer aumento de 1,5°C (Figura 6c), então a temperatura média anual do ar apresentará valores variando entre 28°C e 30°C no oeste do RN e entre 26 e 28°C no oeste da PB, já os menores valores de temperatura serão vistos na parte central da PB e centro sul do RN, cuja variação é de 24 a 26°C.



**Figura 6-** Distribuição espacial da temperatura do ar (°C): (a) média climatológica no período de 1966 a 2003; (b) projeções para cenários com aumento de 3,0°C da média climatológica; (c) projeções para cenários com aumento de 1,5°C da média climatológica.

### 4.3 Campos Resultantes do BH

Os campos das variáveis de saídas do BH Climatológico e índices climáticos serão apresentados para as condições atuais dos dois Estados em estudo, assim como, as anomalias dos cenários com aumento de temperatura do ar de 1,5°C (Cenário “B2”) e 3,0°C (Cenário “A2”) e com aumento e redução em 20% da precipitação em relação a situação atual. Também são apresentadas as anomalias das projeções do IPCC para o período de 2011 a 2040 (denominado estimado) em relação às condições atuais. Outros campos mostrados são os das componentes do balanço hídrico para as condições de El Niño e La Niña. Os resultados individuais de cada estação de todos estes parâmetros estão mostrados no APÊNDICE das Tabelas 6 à 11.

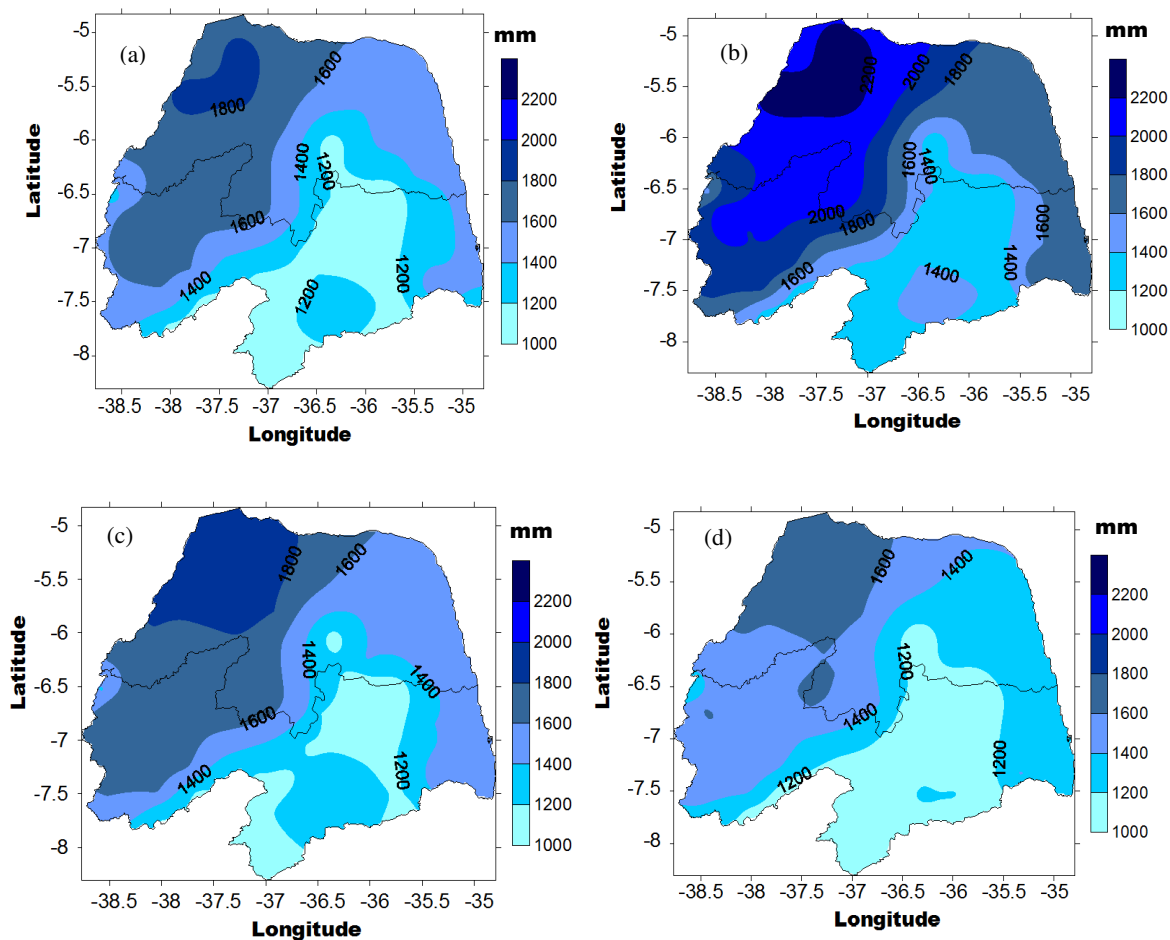
### 4.3.1 Cenários de Evapotranspiração Potencial

Analisando a distribuição espacial da climatologia atual da ETP para os RN e PB (Figura 7a), observa-se maiores valores no extremo oeste do Estado do RN com valores entre 1600 e 1800 mm/ano, já no litoral leste, que vai desde o Leste Potiguar até a Mata Paraibana e a nordeste do Estado do RN são vistos valores de aproximadamente 1400 mm/ano, na localidade de Alhandra- PB a ETP é em torno de 1200 mm/ano. Por outro lado, menores valores são encontrados em torno de 1000 a 1200 mm/ano e 1200 a 1400 mm/ano na região da Borborema, Agreste Paraibano e Central e Agreste Potiguar. E como a evapotranspiração potencial depende da temperatura do ar, portanto, é esperado que os locais que apresentam maiores valores de temperatura também apresentam maiores valores de evapotranspiração potencial, como é visto na (Figura 6a), onde mostra o campo de T média climatológica. E que é visualizado também no cenário da ETP estimada (Figura 7b) produzida como a temperatura do ar projetada pelo IPCC para o período de 2011 a 2040, nota-se que os valores máximos encontram-se em torno de 2200 mm/ano no extremo Oeste do Estado do RN e a noroeste do Estado da PB em torno de 2000 mm/ano, devido o aumento da T, e que conseqüentemente nessa área terá uma maior demanda de vapor d'água. Já no Litoral leste dos dois Estados, é verificado valores de aproximadamente 1600 mm/ano. Os menores valores são observados nas regiões do Agreste Paraibano e na Borborema, assim como no Central Potiguar e Agreste Potiguar em torno de 1000 a 1600 mm/ano. Fazendo uma comparação com os dados de ETP observados (Figura 7a) com os dados de ETP Estimado (Figura 7b), verifica-se uma diferença significativa no noroeste do Estado do RN apresentando diferenças em torno de 400 mm/ano e de 200 mm/ano na região da Borborema e Agreste do Estado da PB para os valores de ETP Estimado.

Fazendo uma comparação entre os cenários de ETP durante períodos de El Niño (Figura 7c) e de La Niña (Figura 7d) nota-se uma diferença em torno de 200 mm/ano para o cenário do El Niño. Já comparando o cenário de ETP observado (Figura 7a), com o cenário de ETP de El Niño (Figura 7c), nota-se uma configuração bem semelhante, com a exceção no noroeste do extremo norte do Estado do RN, onde a área de 1800 mm/ano é um pouco maior para o cenário do El Niño. Por outro lado, no cenário de ETP no período de La Niña (Figura 7d), é verificado valores de 1200 mm/ano em Alhandra- PB, no litoral Leste da PB e no restante da faixa litorânea dos dois Estados com valores em torno de 1400 mm/ano com máximo no extremo oeste do Estado do

RN, acima de 1600 mm/ano. Comparando-se com o cenário da ETP média climatológica (Figura 7a), nota-se um aumento neste cenário em relação ao período de La Niña em toda área em estudo em torno de 200 mm/ano aproximadamente.

Salati et al. (2007) encontrou valores médios de ETP para o NEB de: 1424 mm/ano (dados observados de 1961 a 1990), média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2 de 1593,2 mm/ano (2011 a 2040) e cenário B2 de 1585,9 mm/ano (2011 a 2040). No período analisado das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se aumentos.



**Figura 7-** Distribuição espacial da ETP anual nos Estados RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

### 4.3.2 Cenários de Anomalias de Evapotranspiração Potencial

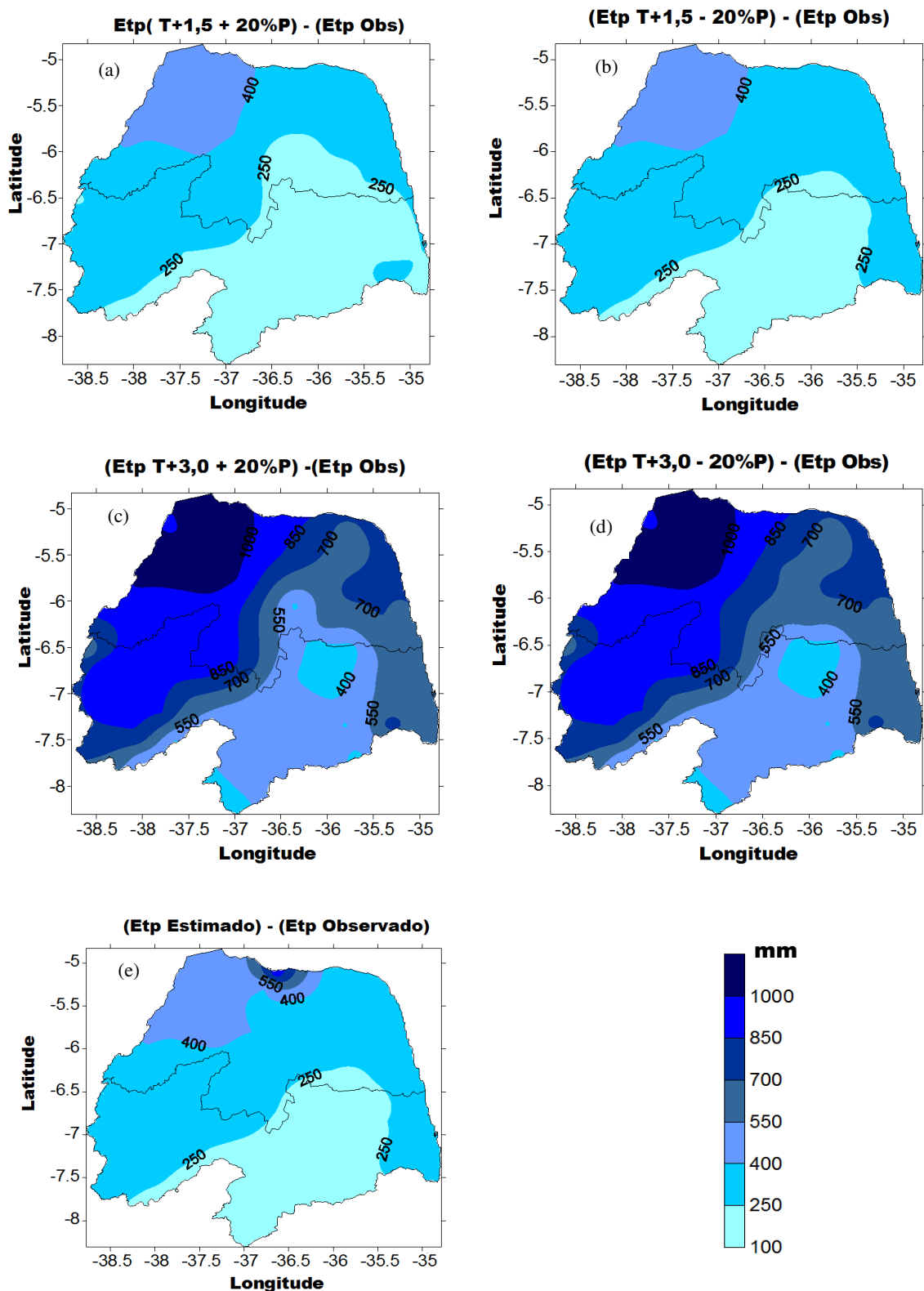
Analisando os campos das anomalias de ETP com aumento e redução de 20% da precipitação para o cenário “B2” em relação à ETP observada, (Figuras 8a e 8b) respectivamente, nota-se que as configurações destas são bem semelhantes, porém no litoral norte do Estado do RN (Figura 8a), para o cenário com aumento de 20% da precipitação, os valores variam de 400 mm/ano até 700 mm/ ano. Já para o cenário “A2”, as anomalias de ETP são da ordem de 250 a 1000 mm/ano (Figuras 8c e 8d). Estas configurações já eram esperadas, pois no cenário “B2” tem-se uma aumento da temperatura do ar da ordem de 1,5°C, enquanto no “A2” é de 3,0°C .

A anomalia de ETP estimada (valores de temperatura do ar do IPCC para o período de 2011 a 2040) é mostrada na (Figura 8e), podemos observar que os maiores valores estão no noroeste do RN, com valores superiores a 400 mm/ano, e os menores na parte central e leste da PB, anomalias de 100 a 250 mm/ano.

Comparando os cenários das anomalias de ETP estimada (Figura 8e) e da ETP com redução de 20% da precipitação para o cenário “B2” e observada (Figura 8b) observa-se uma configuração bem semelhante, porém no Agreste Sul Potiguar o aumento de ETP com valores entre 100 e 200 mm/ano avança um pouco mais para o norte no cenário das anomalias de ETP estimada (Figura 8e).

As configurações observadas ocorreram dentro do padrão esperado, porém é oportuno salientar que as anomalias obtidas para todos os cenários foram superiores as observadas para períodos de El Niño, ou seja, mesmo para condições de aumento de temperatura do ar de 1,5°C, cenário bastante provável, as demandas de água para a atmosfera do dois Estados são superiores as observada nos anos mais secos.





**Figura 8.** Anomalias de ETP em relação ao ETP médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” com redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da Precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011-2040.

### 4.3.3 Cenários de Evapotranspiração Real

A (Figura 9) mostra a distribuição espacial anual da ETR observada, nota-se uma grande semelhança com a ETR estimada usando a projeção de temperatura o IPCC para o período de 2011 a 2040 (Figura 9b), a exceção é no sertão da PB, onde são observados valores diferentes nos dois cenários. Em ambas as (Figuras 9a e 9b) verificam-se em toda faixa do litoral leste valores em torno de 900 a 1050 mm/ano, porém com uma área mais extensa no cenário de ETR estimada. O mesmo acontece na região do Agreste Paraibano, observa-se um núcleo de valor acima de 900 mm/ano, nos dois cenários, porém na ETR estimada o núcleo é maior.

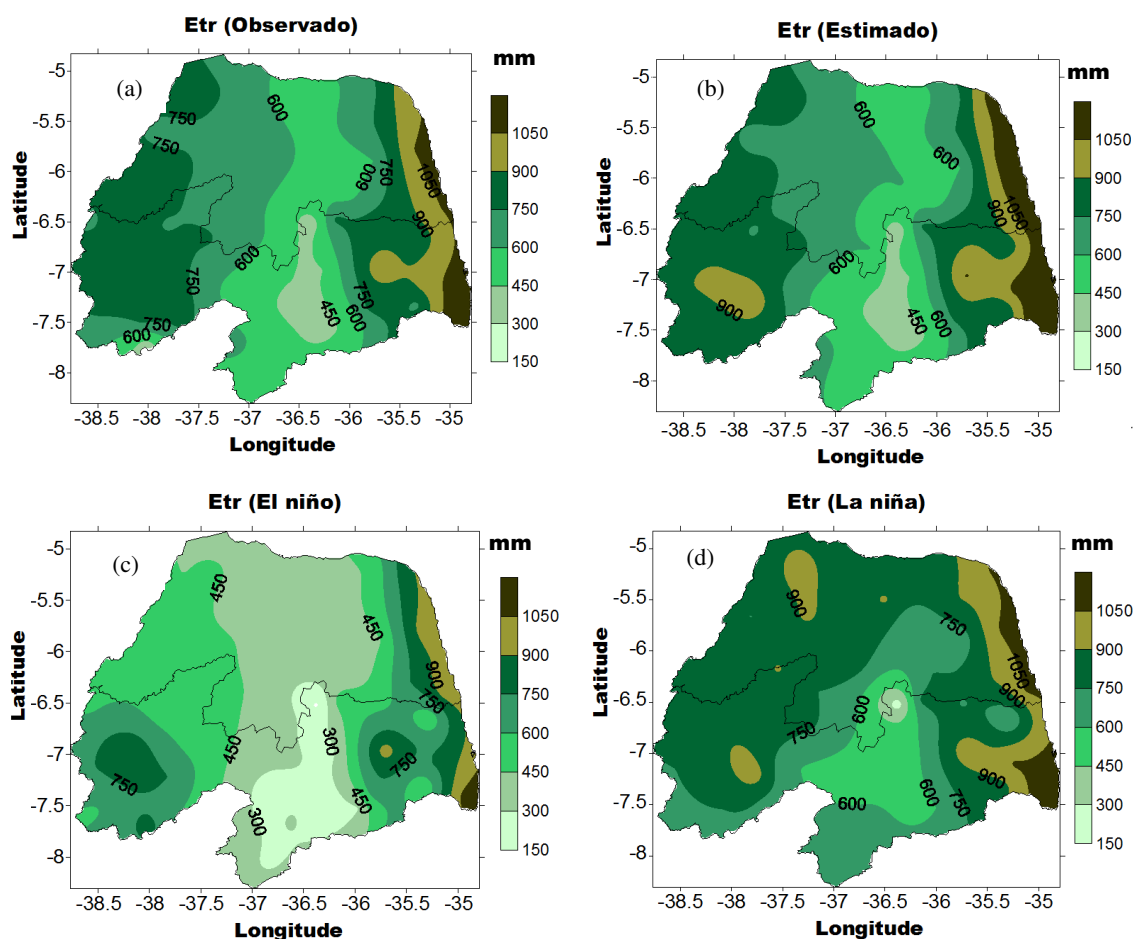
É oportuno destacar que no sertão da PB é observado um núcleo com ETR superior a 900 mm/ano no campo da ETR estimada, enquanto que no campo de ETR observada, os valores são superiores a 750 mm/ano. Isto significa que apenas no cenário de ETR estimada ocorreu uma maior evaporação da superfície para a atmosfera, como não ocorreu aumento de precipitação, isto leva ao solo ficar mais seco ou ocorre uma diminuição no escoamento superficial.

Já a distribuição da ETR para os períodos de El Niño (Figura 9c), nota-se valores muito pequenos em toda a região variando de 150 a 900 mm/ano, com um máximo em Alhandra da ordem de 1050 mm/ano. Com a diminuição da ETR, a contribuição local de umidade para atmosfera dos dois Estados fica um pouco mais seca, pois o decaimento da ETR é decorrente da diminuição das chuvas, o solo também fica mais seco. Portanto a ETR, nos períodos de El Niño, as condições são mais favoráveis ao aumento da aridez na PB e RN.

Como a ETR é um parâmetro do BH, que é derivada diretamente da temperatura do ar e da disponibilidade de água no solo, a sua variabilidade temporal e espacial obedece à sazonalidade da temperatura do ar e da precipitação dentro da região.

Na distribuição espacial da ETR nos períodos de La Niña (Figura 9d) observa-se valores variando de 450 mm/ano na região da Borborema e Agreste Paraibano e no litoral leste dos dois Estados variando em torno de 1050 mm/ano. Uma comparação com a distribuição da ETR no período El Niño mostra uma diferença de valores de superiores a 300 mm/ano em praticamente quase toda a área, sendo assim, um cenário que apresenta uma maior taxa de evaporação de água da superfície para atmosfera. Isto ocorre devido ao aumento de precipitação observado nos anos de La Niña que, além de

aumenta da evaporação para atmosfera, também aumenta a umidade do solo, reduzindo a aridez dos dois Estados.



**Figura 9** - Distribuição espacial da ETR anual nos Estados RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

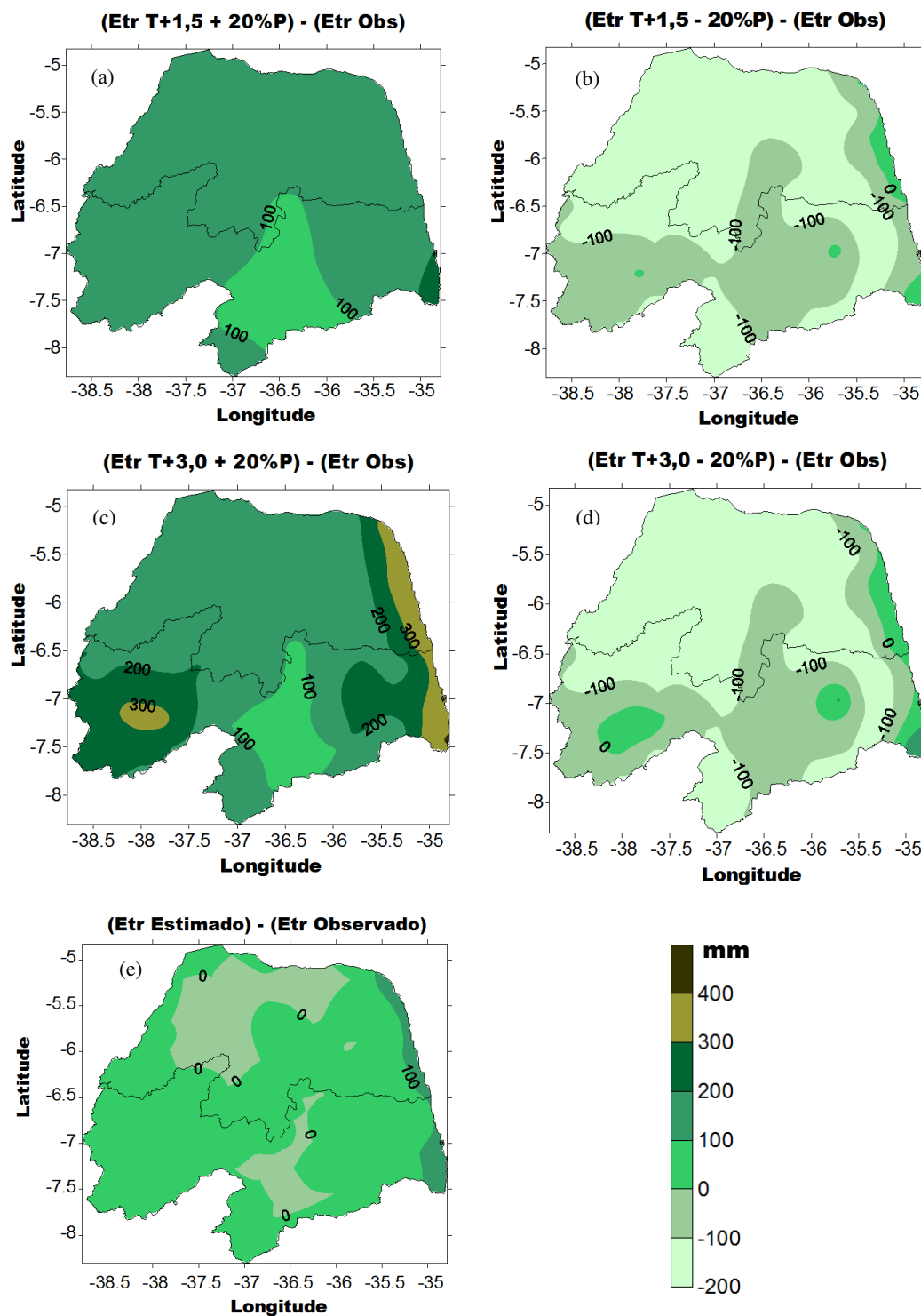
#### 4.3.4 Cenários de Anomalias de Evapotranspiração Real

A (Figura 10a) mostra as anomalias da ETR para aumento de 20% da Precipitação e cenário “B2” em relação à ETR Observada, verifica-se na região da Borborema valores entre zero e 100 mm/ano, isto é decorrente do aumento da precipitação, pois, com exceção da faixa litorânea leste, a ETP é superior a precipitação nos Estado da PB e RN. Portanto, aumentando a precipitação, aumenta a evaporação real, como mostra o campo de anomalias de ETR (Figura 10a). Entretanto, para as anomalias com cenário “B2” e diminuição da precipitação em 20%, observam-se

valores negativos sobre os dois Estados (Figura 10b), isto é verificado devido a diminuição da precipitação, provocando assim uma redução na ETR na parte central e oeste dos Estados e ainda um aumento de temperatura na faixa do litoral leste.

A (Figura 10c) mostra anomalias positivas de ETR em todas as áreas dos dois Estados. Esta configuração já era esperada, pois estão plotadas as anomalias de ETR considerado cenário “A2” (aumento da temperatura média do ar em 3,0°C) e aumento da precipitação em 20%. Estes fatores aumentam a ETR pela diminuição da umidade relativa da atmosfera, devido ao aumento de temperatura do ar, e pelo aumento da oferta de água, devido ao aumento das chuvas. Portanto, não é estranho o aumento de ETR em toda área com valores de anomalias de 300 mm/ano na faixa do litoral leste e sertão da Paraíba (Figura 10c). Por outro lado, as anomalias para uma redução de 20% da precipitação e cenário “A2” em relação à ETR atual apresenta valores negativos sobre os dois Estados (Figura 10d), isto ocorre devido a diminuição da precipitação. É interessante observar que as configurações espaciais das anomalias das (Figuras 10b e 10d) são muito semelhantes, reforçando que o motivo da redução da ETR é a diminuição imposta às chuvas.

Analisando as anomalias da ETR estimado em relação à ETR observada (Figura 10e), nota-se que parte do Central Potiguar e no extremo norte do sertão do RN, na Borborema e sertão da PB, observa-se valores em torno de -100 mm/ano. Já os Valores bem significativos são verificados no sudoeste do Estado da PB, variando em torno de 100 mm/ano a 400 mm/ano, isso quer dizer nessa área houve um aumento de evaporação de água da superfície para a atmosfera. Em toda a faixa litorânea observam-se anomalias positivas variando entre 100 e 200 mm/ano, entretanto, este aumento de evaporação não foi capaz de produzir aumento na precipitação média devido à diminuição na umidade relativa da atmosfera. Portanto, pode ser conjecturado que para haver aumento de precipitação deveria ocorrer um aumento ainda maior da evaporação, ou um aumento do transporte de umidade do oceano para o continente.

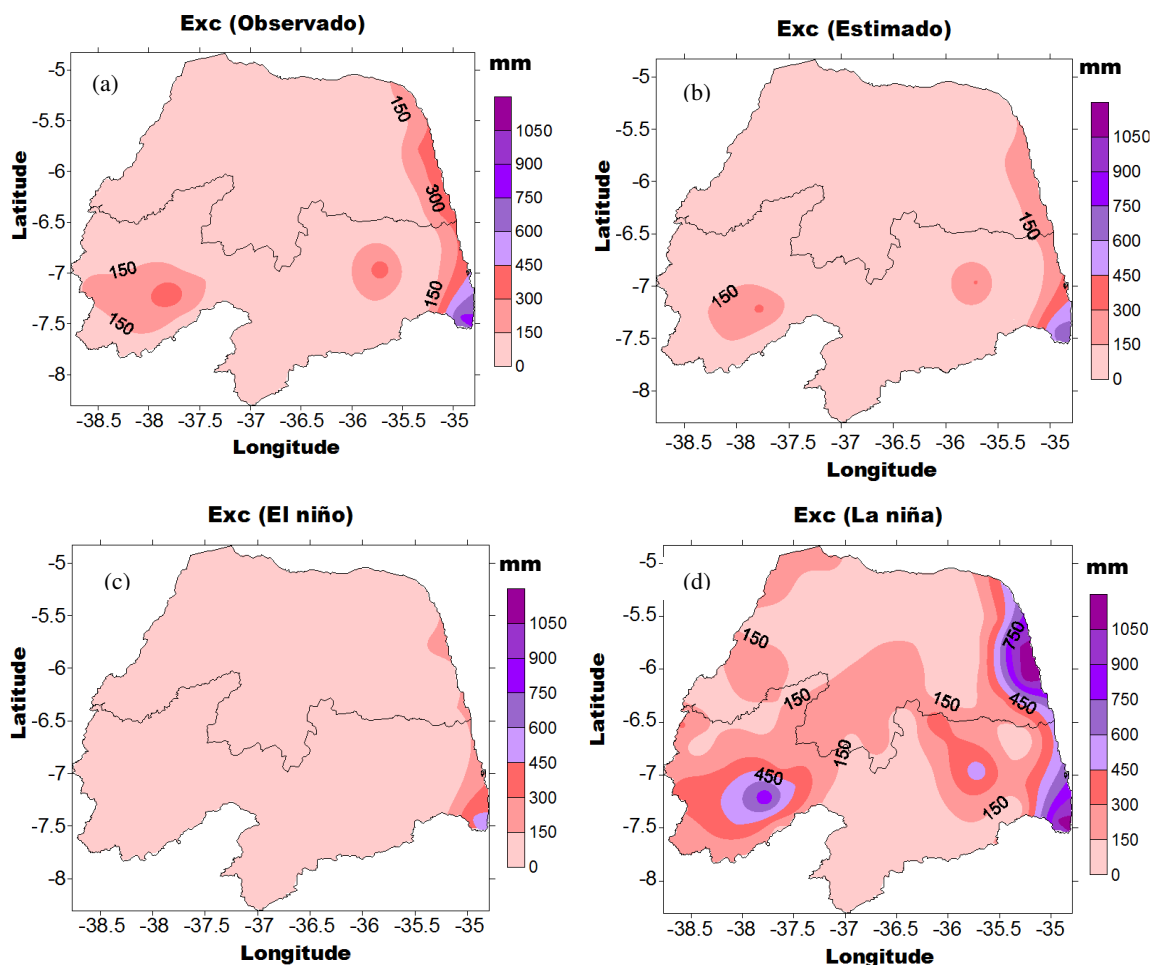


**Figura10.** Anomalias de ETR em relação ao ETR médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011-2040.

### 4.3.5 Cenários para Excedente Hídrico

Analisando a (Figura 11a) que mostra o excedente hídrico (EXC) observado, nota-se que em boa parte da área em estudo os valores ficam abaixo de 150 mm/ano, isso por conta de pouca quantidade de chuvas. Verifica-se ainda, dois núcleos no Estado da PB que variam de 150 a 300 mm/ano na região do Sertão e Agreste, porém toda a faixa litorânea está em grande excedente hídrico de 150 a 750 mm/ano, representando uma fração considerável de água da chuva, que atravessa a zona das raízes, pois o teor de umidade do solo está acima da capacidade de campo. Que provavelmente irá alimentar o lençol freático, constituir as reservas subterrâneas e alimentar as nascentes, além de produzir escoamento superficial relativamente intenso. Semelhante a esse cenário é a configuração espacial da (Figura 11b), que mostra o excedente hídrico estimado pelas condições médias de temperatura do ar e precipitação projetado pelo IPCC para o período de 2011 a 2040. Entretanto, no excedente estimado, verifica-se um decaimento deste em relação ao atual na faixa do litoral leste de ambos Estados. Isto significa uma diminuição do escoamento superficial e subsuperficial e da alimentação de água para os lençóis subterrâneos.

A (Figura 11c) mostra o Excedente hídrico médio para os anos de ocorrência de evento El Niño, é importante ressaltar que esse fenômeno tem significativas influências na variabilidade climática do NEB, em geral, é observada seca e isso mostra claramente, pois apresentam valores bem pequenos, abaixo dos 150 mm/ano em toda área de estudo e há uma pequena variação no litoral Paraibano por volta de 150 a 450 mm/ano e na Leste Potiguar do RN variando de 150 a 300 mm/ano. Configuração oposta ao do período de evento El Niño é mostrada na (Figura 11d), que é o campo do excedente hídrico médio para os anos de La Niña, é visto valores bem significativos em toda faixa leste do litoral dos Estados variando de 450 a 1050 mm/ano nesse caso, tem-se umidade suficiente para alimentar o lençol freático, pois o teor de umidade do solo está acima da capacidade de campo. No agreste e sertão da PB mostra valores variando de 150 a 450 mm/ano e de 150 a 750 mm/ano respectivamente, já no sudoeste e central sul do Estado do RN, apresenta valores entre 300 a 450 mm/ano. E valores abaixo de 150 mm/ano são visto apenas na região do cariri da PB e RN.



**Figura 11** - Distribuição espacial do EXC anual nos Estados RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

#### 4.3.6 – Cenários de Anomalias de Excedente Hídrico

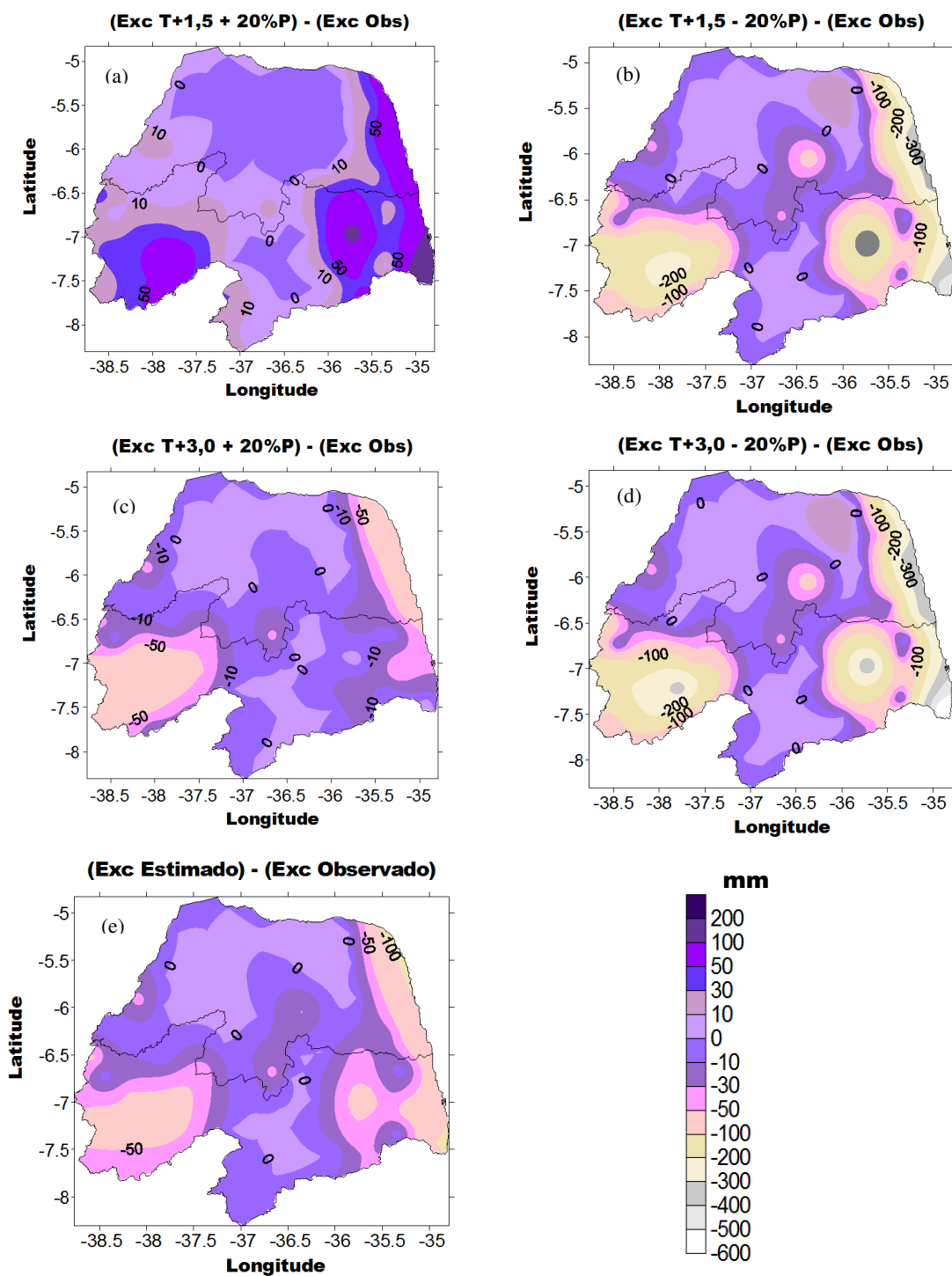
A (Figura 12a) mostra as anomalias do excedente hídrico com aumento de 20% da precipitação para o cenário “B2”, mostra anomalias positivas em boa parte dos dois Estados, entretanto maiores valores são observados em todo o litoral leste, variando de 50 a 100 mm/ano e anomalias negativas, no Estado do RN nas regiões do leste do oeste potiguar, central potiguar e oeste do agreste potiguar, assim como no Estado da Paraíba na região da Borborema valores de -10 a 0 mm/ano. Ela apresenta uma configuração mais próxima do cenário atual. Analisando a (Figura 12b) que mostra as anomalias do excedente hídrico com redução de 20% da Precipitação para o cenário “B2”, é

observado valores de anomalias positivas entre 0 e 10 mm/ano na região norte central potiguar, oeste do Agreste Potiguar, na maior parte do oeste potiguar e na região da Borborema, observa-se ainda que na PB apresenta dois núcleos nas regiões do Sertão e Agreste valores negativos variando de -300 a -200 mm/ano. E em toda faixa litorânea dos Estados encontra-se valores de -500 a -100 mm/ano, no restante dos Estados é visto valores negativos variando de -100 a 10 mm/ano acarretando assim, uma redução no EXC devido a redução da precipitação em toda essa área.

As (Figura 12c e 12d) mostram as anomalias de excedente hídrico para o cenário “A2”, aumento de 3,0°C na temperatura do ar, e aumento e redução de 20% na precipitação média anual, respectivamente, em relação ao excedente atual médio. Nota-se na (Figura 12c) anomalias negativas que de um modo geral provoca a redução do EXC em praticamente toda área de estudo com exceção nas regiões do oeste potiguar, central potiguar e oeste do agreste potiguar, assim como no Estado da Paraíba na região da Borborema valores acima de 0 mm/ano, enquanto, a configuração espacial da (Figura 12d) é semelhante a (Figura 12b). Isto mostra que o aumento de temperatura teve uma maior influência para redução do excedente hídrico, através da evapotranspiração real, do que a diminuição da precipitação. Notam-se semelhanças em toda região, com valores de anomalias negativas em todo litoral leste de -200 a -600 mm/ano e no restante dos Estados valores entre -100 e 0 mm/ano.

A (Figura 12e) apresenta a configuração espacial das anomalias do excedente hídrico estimado com base em informações das projeções de temperatura do ar e precipitação para o período de 2011 a 2040 em relação ao excedente hídrico. Observa-se de um modo geral uma diminuição do excedente, anomalias negativas, com os maiores valores no litoral leste do Rio Grande do Norte da ordem de -100 mm/ano.





**Figura 12-** Anomalias de EXC em relação ao EXC médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar do IPCC para 2011-2040.

#### 4.3.7 Cenários para Armazenamento de água no solo

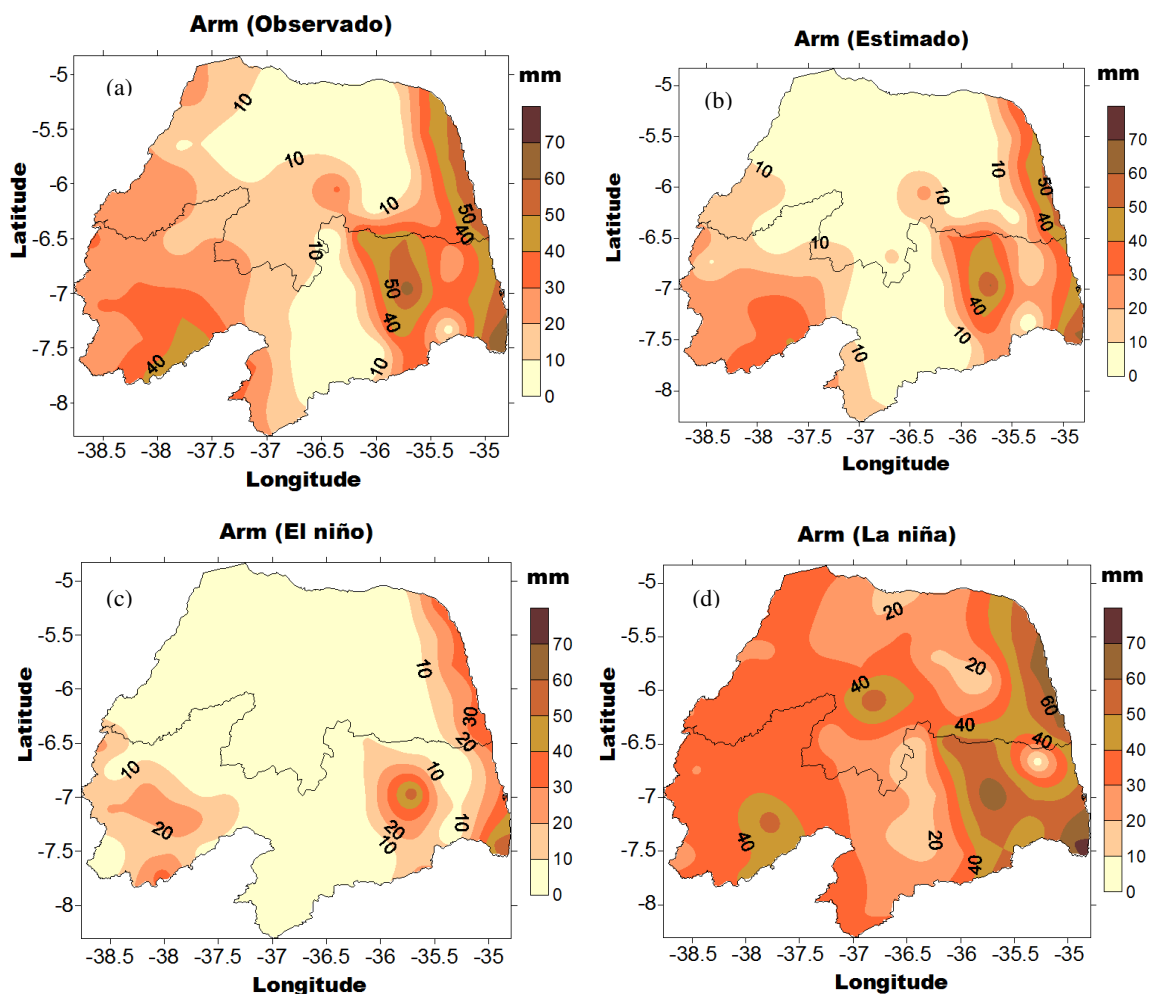
A (Figura 13a), mostra a distribuição do ARM médio climatológico. Verificam-se valores entre 0 e 60 mm/ano sobre a PB e RN. Os menores valores, são observados na região da Borborema, na PB, e nas regiões central, oeste e agreste potiguar, no RN, com valores entre 0 e 20 mm/ano. No sertão Paraibano é visto valores entre 20 e 40 mm/ano e de 0 e 50 mm/ano no Agreste Paraibano. Os maiores valores da ordem de 60 mm/ano são observados em toda a faixa litorânea. Já a Figura 13b, mostra o campo do ARM estimado pelo IPCC, para o período de 2011 a 2040, observam-se valores inferiores a 10 mm/ano em quase todo o RN e na parte central da PB. Os maiores valores são observados na faixa do litoral leste. No Sertão da PB verifica-se ARM da ordem de 10 a 30 mm/ano, enquanto que no Agreste, valores são de 10 a 50 mm/ano.

A (Figura 13c) mostra o campo de ARM médio para anos com evento El Niño. Os maiores valores são vistos no Leste do Potiguar e Mata Paraibana que variam de 10 a 60 mm/ano, sendo o máximo em Alhandra-PB, uma parte do sertão Paraibano variam de 10 a 20 mm/ano e parte do agreste de 10 a 50 mm/ano. Em uma grande área dos dois Estados observam-se valores de ARM entre 0 e 10 mm/ano, sendo assim, menor valor na distribuição do armazenamento de água no solo. Isto ocorreu devido à diminuição das chuvas no Semi-árido do Nordeste em anos de evento El Niño, e conseqüentemente observa-se uma diminuição do conteúdo de água armazenada nos solo.

A (Figura 13d) mostra o campo de ARM para anos de La Niña, onde são observados valores entre 20 e 70 mm/ano, indicando serem maiores do que para anos com eventos de El Niño (Figura 13c), isso deve-se ao aumento das chuvas no NEB em anos de La Niña o que por sua vez produz um aumento de umidade do solo. De um modo geral a configuração para os anos de La Niña (Figura 13d) é semelhante a das médias climatológicas (Figura 13a), porém com valores mais elevados, pois em toda faixa do litoral leste dos Estados observam-se índices de umidade variando de 30 a 70 mm/ano, enquanto os menores valores estão na região da Borborema, no norte do Central Potiguar e Leste Potiguar, com variação de 10 a 20 mm/ano. Em todo o oeste dos Estados são visto valores entre 30 e 40 mm/ano e no Agreste Paraibano entre 20 a 60 mm/ano.

Verifica-se que as localidades com maior armazenamento de água no solo, estão no Litoral Leste dos Estados e sudeste da PB, enquanto que os menores estão na região

da Borborema e Central Potiguar. Isto já era esperado, pois, são as áreas que apresentam maiores e menores totais de precipitação, Respectivamente.



**Figura 13-** Distribuição espacial de ARM anual no RN e PB: (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

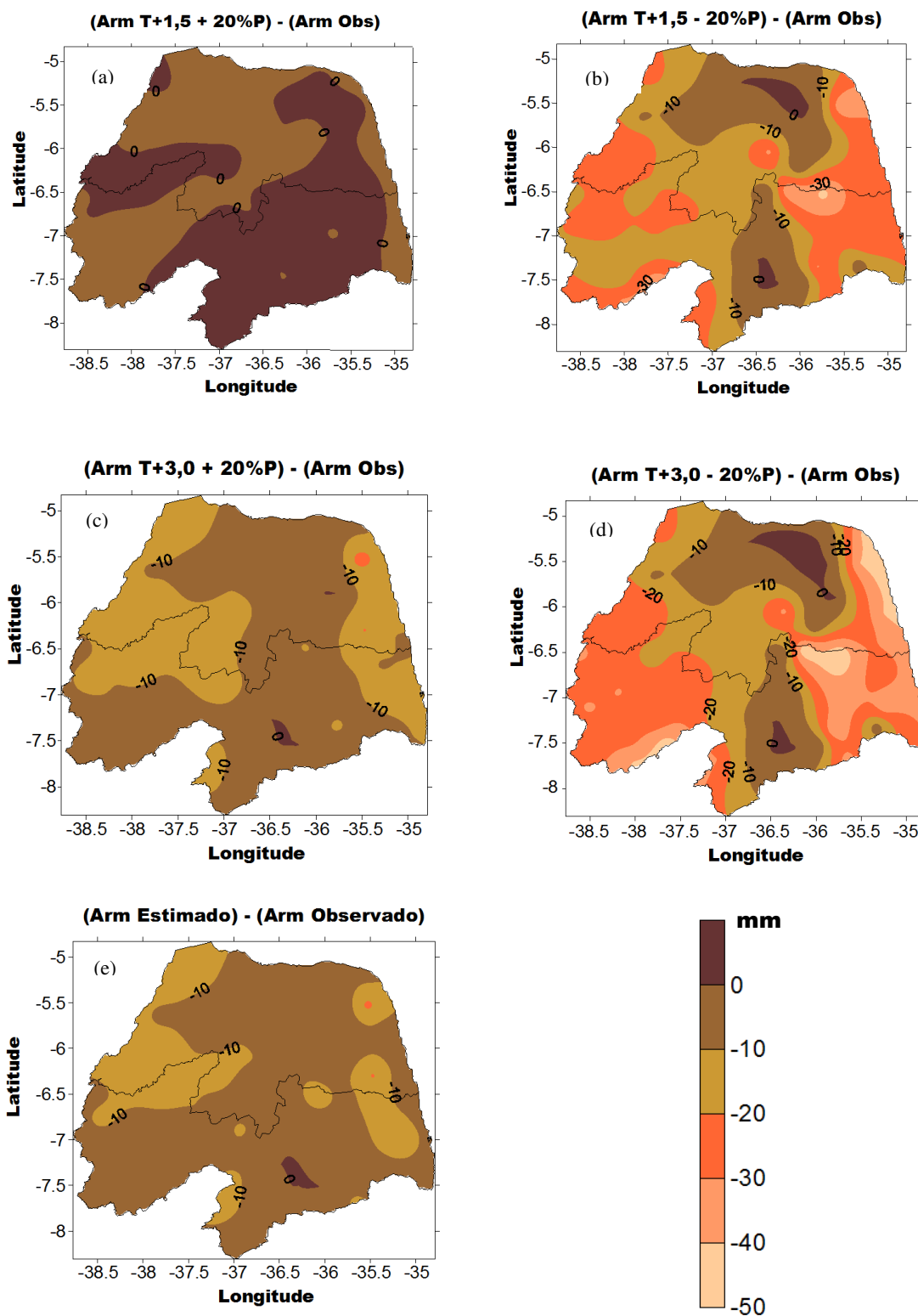
#### 4.3.8 Cenários de Anomalias do Armazenamento de água no solo

O campo das anomalias do ARM para o cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação em relação ao ARM médio climatológico é mostrado na (Figura 14a). Em aproximadamente 50% das áreas dos dois Estados observam-se valores variando entre -10 a 0 mm/ano, ou seja, sendo a maior parte anomalias negativas. Isto mostra que mesmo aumentando a precipitação em 20% o aumento de 1,5°C na temperatura média do ar ainda é capaz de produzir uma diminuição do conteúdo de umidade do solo em uma grande área da Paraíba e Rio Grande do Norte. Isto é muito preocupante, pois, em

geral, os modelos mais otimistas mostram no máximo um aumento de 10% na precipitação e um aumento mínimo de 1,5°C na temperatura do ar, ou seja, em condições mais otimista os modelos mostram um quadro de diminuição da umidade do solo mais grave que o mostrado na Figura 14a.

Para as projeções das anomalias do ARM para o cenário B2 do IPCC, com redução de 20% da precipitação (Figura 14b), mostram valores variando entre -40 a 0 mm/ano. As projeções da (Figura 14b) mostram valores entre -40 e -30 mm/ano no Agreste Paraibano, no litoral Leste dos Estados, sudoeste da região da Borborema, Sertão e a noroeste do Oeste potiguar. Já na região da Borborema, nordeste do oeste potiguar, norte do central potiguar e norte do agreste potiguar, os valores estão em torno de -10 a 0 mm/ano. No restante dos Estados, verificam-se valores de -20 mm/ano. Isso é decorrente da redução de Precipitação, em geral, houve pouca evaporação assim como redução no conteúdo de umidade no solo.

As (Figuras 14c e 14d) mostram as projeções das anomalias do ARM até 2040 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da e redução de precipitação de 20% respectivamente. Na Figura 14c (aumento de 20% da Precipitação) é visto valores variando de -20 a -10 mm/ano enquanto que na Figura 14d (redução de 20% da Precipitação) de -40 a 0 mm/ano. Valores em torno de -20 mm/ano são vistos na Figura 14c em todo litoral leste dos Estados, no extremo oeste do oeste e central potiguar, parte norte do Sertão, na região da Borborema e no restante do Estado são vistos valores de -10 mm/ano. A (Figura 14d) mostra valores de -40 a -30 mm/ano na mata paraibana, no sertão, e em boa parte do oeste potiguar, já no leste potiguar, os valores variam de -50 a -30 mm/ano e que essas anomalias negativas foram devido o aumento da Temperatura em 3°C com a redução de 20% da Precipitação, provocando uma redução drástica no conteúdo de água no solo. Observa-se ainda, que toda região noroeste potiguar, central potiguar, agreste potiguar, a oeste da Borborema e leste do agreste Paraibano, os valores são entre -10 a 0 mm/ano. No restante dos Estados é visto valores de -20 a -10 mm/ano. A anomalia do ARM Estimado é apresentada na Figura 14e, onde os valores variam de -20 a 0 mm/ano, observam-se valores entre -20 a -10 mm/ano em todo o extremo oeste e sudoeste do Estado do RN, sul do Agreste Potiguar e norte do agreste Paraibano, assim como, núcleos a oeste da Borborema, Curimataú e nordeste do Agreste Paraibano.



**Figura 14-** Anomalias de ARM em relação ao ARM médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040.

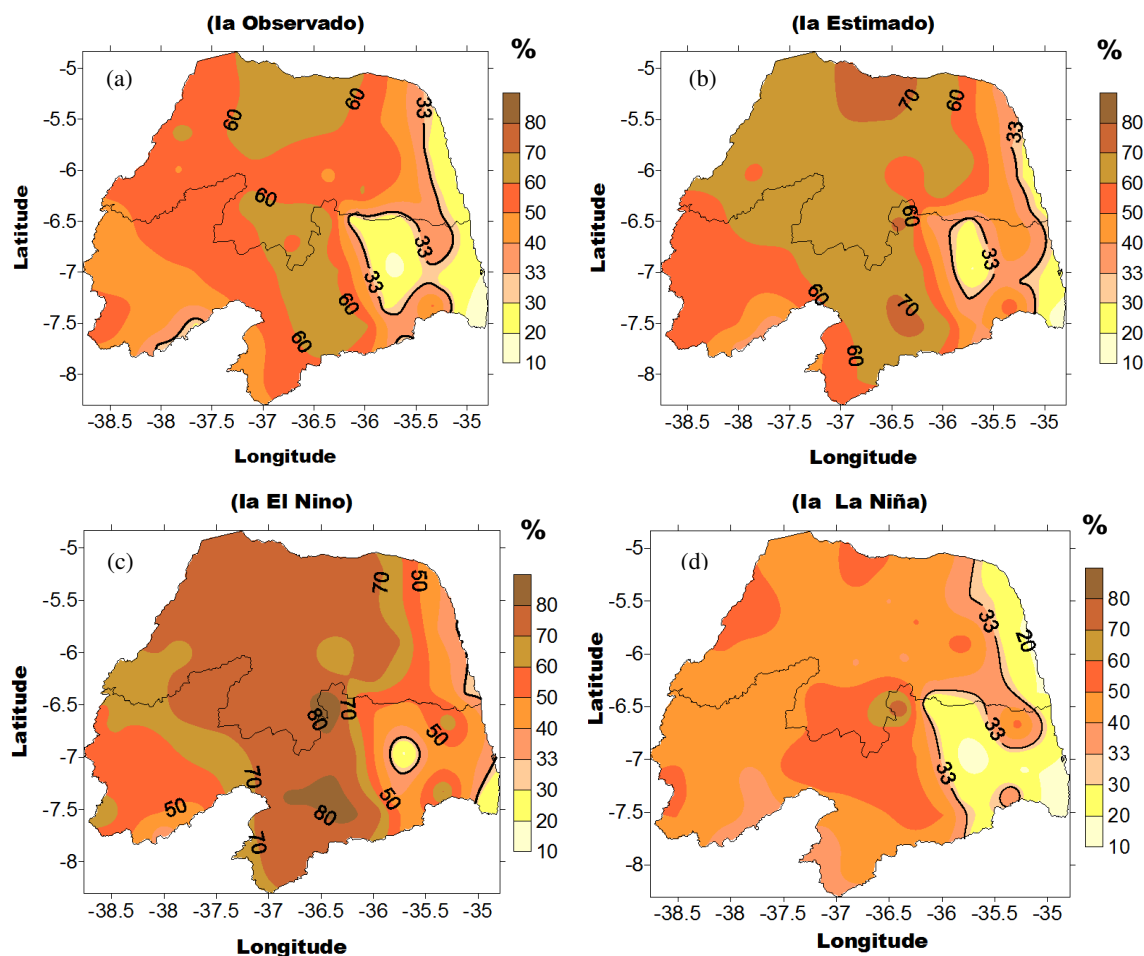
#### 4.3.9 Cenários do Índice de Aridez

A análise será feita com base na Tabela 3 descrito anteriormente, onde mostra a variação do Ia. Analisando a distribuição espacial do Ia observado médio climatológico (Figura 15a) para o período de 1966 a 2003, verificam-se valores variando entre (10 e 60%), sendo os valores em torno de 10 em Alhandra no sul do litoral Paraibano, já no restante do litoral leste, os valores são em torno de 20%. No Agreste Paraibano são vistos valores entre (20 a 30%) e a sudeste do Sertão Paraibano, os valores são em torno de 30% e no sudoeste do sertão, são acima de 40%. Sendo assim, essas regiões apresentaram pequenas ou quase nenhum déficit de água, moderado e déficit muito forte. Os valores acima de 60% são vistos no leste da Borborema e a oeste do Agreste Paraibano. No restante dos Estados são vistos valores em torno de 50%. Nessas localidades apresentaram déficit muito grande, mostrando quão árido é a atmosfera, ou seja, existe uma dificuldade maior para a atmosfera saturar em termos de percentagem.

Já analisando o Ia estimado usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040 (Figura 15c) observam-se valores um pouco acima do observado, onde os menores valores estão localizados em todo litoral leste, porém no sul do litoral Paraibano, especificamente em Alhandra, o valor continua o mesmo em torno de 10%. No restante do litoral os valores são de (20 a 40%). Pequeno ou déficit de água é visto nessas regiões. Na PB, são observados valores entre (20 a 40%) no Agreste e no Sertão Paraibano, valores entre (30 e 50%), já no Estado do RN, observa-se um núcleo com valor de 70% no norte do Central Potiguar. No restante dos Estados é observado valor de (50 a 60%). Esses valores nessas regiões significam o quão árido é a atmosfera e com pouco vapor, pois apresentam valores de déficit de água muito forte.

As configurações espaciais do Ia para os períodos de El Niño e La Niña estão apresentados nas (Figuras 15c e 15d), nas quais se observa que nos anos de El Niño quase todo o Estado apresenta grande déficit de água para plantas,  $Ia > 33\%$ , principalmente nas regiões do Oeste Potiguar, Central Potiguar, Agreste Potiguar e na Borborema Paraibana; apenas no litoral sul da PB não ocorre déficit de água. Este drástico quadro de deficiência de água é produzido pela ausência de mecanismos atmosféricos capazes de gerar quantidades razoáveis de precipitação.

Na distribuição espacial de Ia em anos com eventos de La Niña (Figura 15d) ocorre a redução do déficit de água para as plantas em maior parte dos dois Estados, quando comparada à configuração observada (Figura 15a), este ganho é inferior ao verificado aos anos de El Niño e relativamente próximo a observada, também são verificadas nas suas configurações espaciais (Figuras 15d e 15a) indicando condições de aridez nos anos de La Niña estão, em geral, mais próximas da média que aquela dos anos de El Niño.



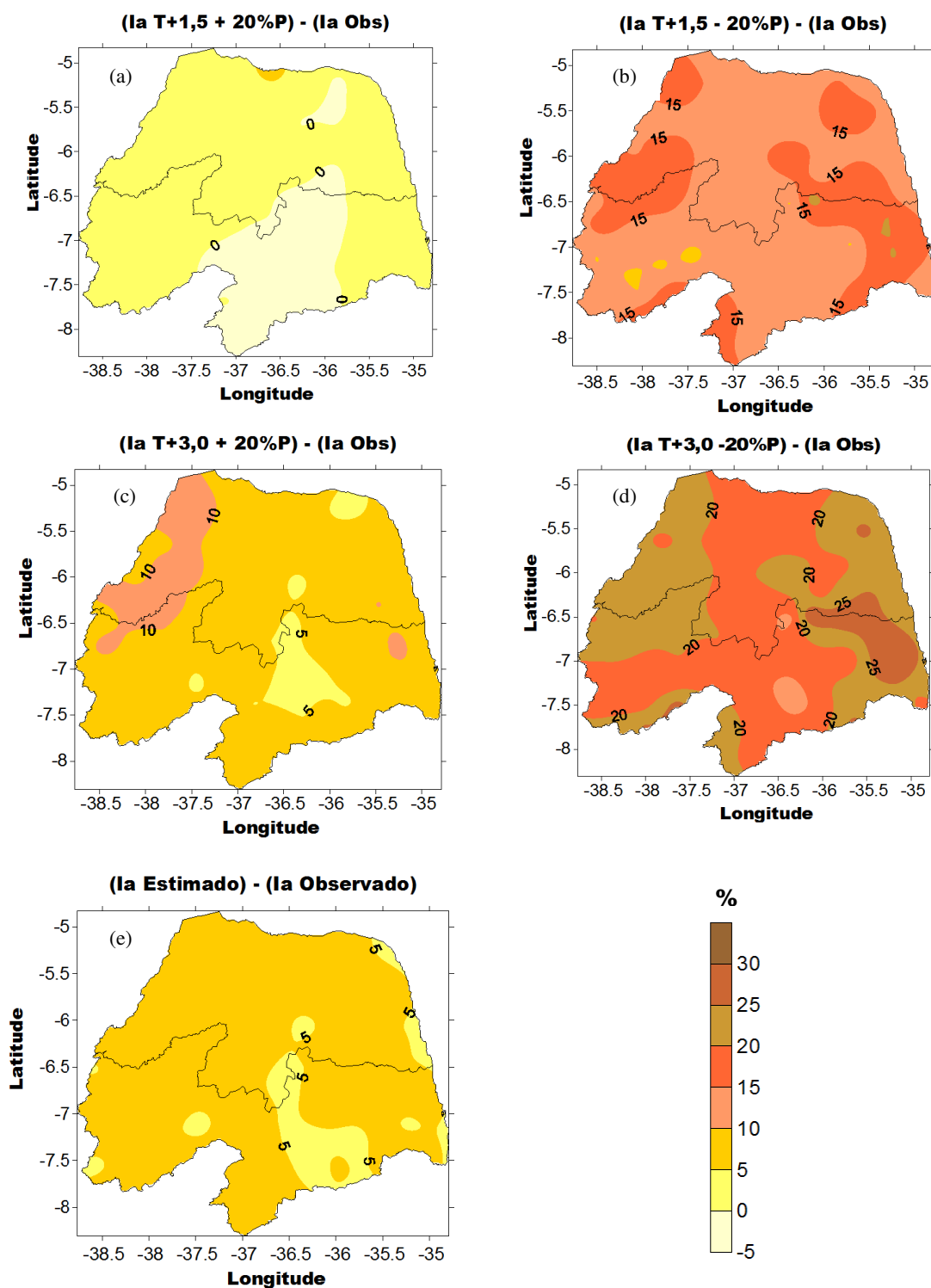
**Figura 15** - Distribuição espacial de Ia nos Estados do RN e PB para (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

#### 4.3.10 Cenários de Anomalias do Índice de Aridez

As projeções das anomalias do Ia com aumento de temperatura do ar de 1,5°C com aumento e redução da precipitação de 20% são mostradas nas (Figuras 16a e 16b), respectivamente. Na (Figura 16a) há um aumento da aridez proveniente do aumento de 1,5°C na temperatura do ar e é compensado pela redução da aridez decorrente de aumento de 20% na precipitação. Portanto, não foram verificadas mudanças na aridez para este cenário. Já na (Figura 16b), observa-se um aumento significativo da aridez, na costa da Paraíba que é capaz de mudar a sua classificação climática.

As anomalias do Ia para um aumento 3,0°C da temperatura do ar com aumento e redução da precipitação de 20% em relação ao Ia médio climatológico são mostradas nas (Figuras 16c e 16d), respectivamente. Para a (Figura 16c), houve uma redução da aridez decorrente do aumento de precipitação que não foi capaz de compensar o aumento da aridez proveniente do aumento de 3,0°C da temperatura do ar, portanto são observadas anomalias positivas em toda área onde há um aumento nas condições de aridez principalmente no oeste dos dois Estados. No cenário da (Figura 16d) observa-se um aumento da aridez decorrente tanto do aumento de temperatura como da redução da precipitação, estas condições pode levar a desertificação em várias áreas dos Estados. Já as condições de aridez estimadas com anomalias de temperatura e precipitação do IPCC no período de 2011 a 2040 (Figura 16e) mostra um aumento moderado da aridez em toda as regiões dos dois Estados.





**Figura 16-** Anomalias de Ia em relação ao Ia médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040.

#### 4.3.11 Cenários para Índice Efetivo de Umidade

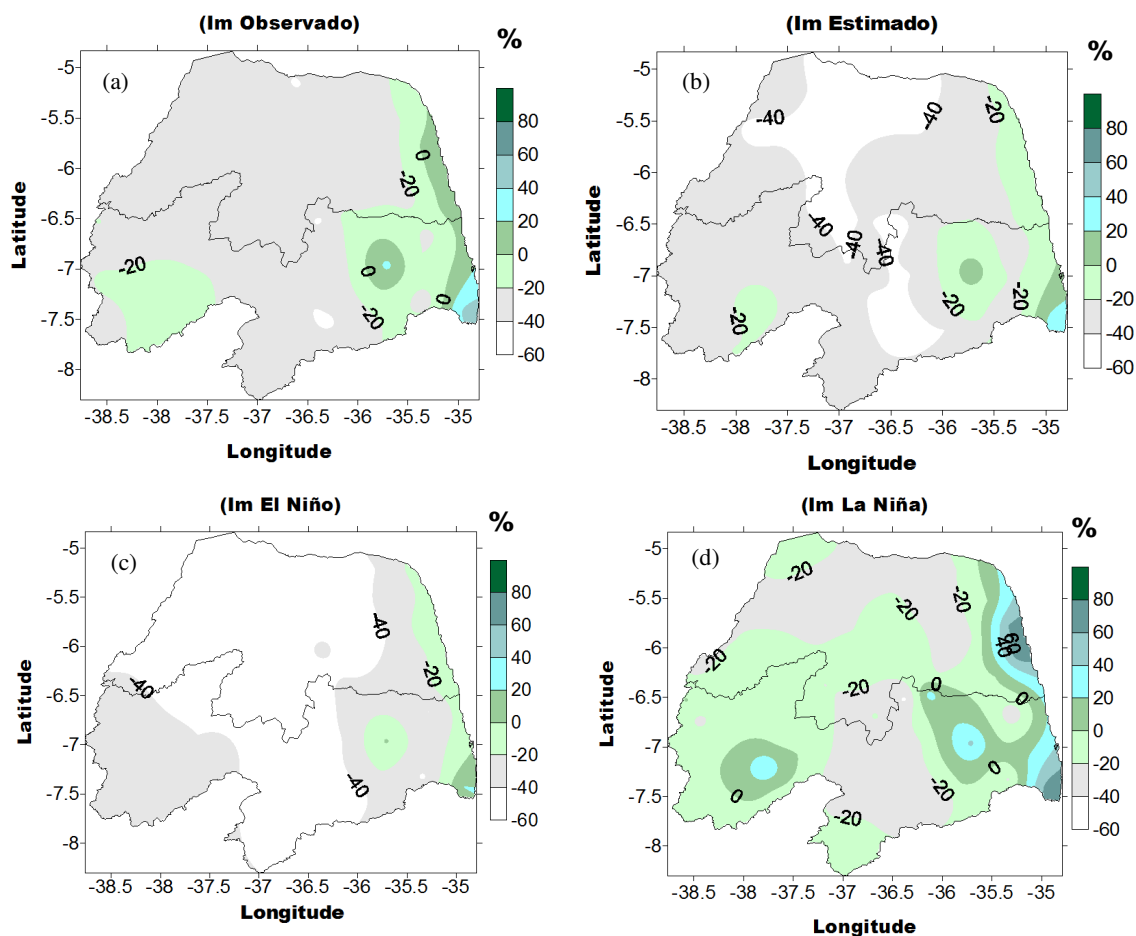
Os Cenários para o Im é analisando com base na Classificação Climática da Tabela 4, descrito anteriormente. Fazendo uma análise do Cenário para o Im médio climatológico para o período de 1966 a 2003 (Figura 17a), verificam-se valores entre (-40 e -20%) na maior parte dos dois Estados, indicando nessas regiões um clima semi-árido, já em todo litoral leste é visto valores de (0 a 20%) apresentando assim um clima sub-úmido, enquanto no litoral sul da PB, apresenta um clima úmido, pois valores são acima de 20%.

Para o cenário de Im estimado foram usadas projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período de 2011 a 2040 (Figura 17b), houve certo aumento para essa configuração em relação ao Im médio climatológico. Isto significa que poderá ocorrer um aumento da aridez nos dois Estados. Na (Figura 17b) pode ser vistos valores variando de (-60 a -40%) no leste do Oeste Potiguar, parte oeste e norte do Central Potiguar e a leste da Borborema, sendo assim classificada uma região como clima árido, observa-se ainda que valores variando de (-20 a 0%) em todo o litoral leste, podendo ser classificada nessa região como sendo sub-úmido seco, porém litoral sul da PB é verificado uma outra variação de (0 a 20%) sendo assim classificada com um clima sub úmido. No restante dos Estados, uma área maior que as outras, são vistos valores variando de (-40 a -20%), desta forma classificada como um clima semi-árido.

Na configuração do Im em anos de El Niño (Figura 17c), são verificados valores de (-60 a -40%) no Sertão, de (-40 a -20%) no Agreste Paraibano e (-20 a 0%) no litoral leste, sendo essas regiões classificadas como um clima árido, semi-árido e sub-úmido seco, respectivamente.

Por outro lado, o cenário de Im em anos de eventos La Niña, (Figura 17d), os valores são um pouco maior do que o campo de Im com eventos de El Niño (Figura 17c). Verifica-se que no Estado da PB, especificamente na região do Sertão e Agreste, dois núcleos com valores de (-20 à 0% e de 0 à 20%), sendo assim classificado nessa área com clima de sub-úmido seco e sub-úmido, respectivamente. Já na região da Borborema, são vistos valores entre (-40 e -20%) sendo considerada uma região de clima semi-árido, assim como na maior parte do RN, em que é observada essa mesma variação e, portanto, também clima semi-árido. Por outro lado, em toda a faixa litorânea

dos dois Estados, verificam-se valores variando de (0 a 60%), tal região é considerada como um clima sub-úmido úmido.



**Figura 17** - Distribuição espacial de Im nos Estados do RN e PB para (a) média climatológica observada no período de 1966 a 2003; (b) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para o período 2011-2040; (c) média para os períodos de evento El Niño e (d) média para os períodos de evento La Niña.

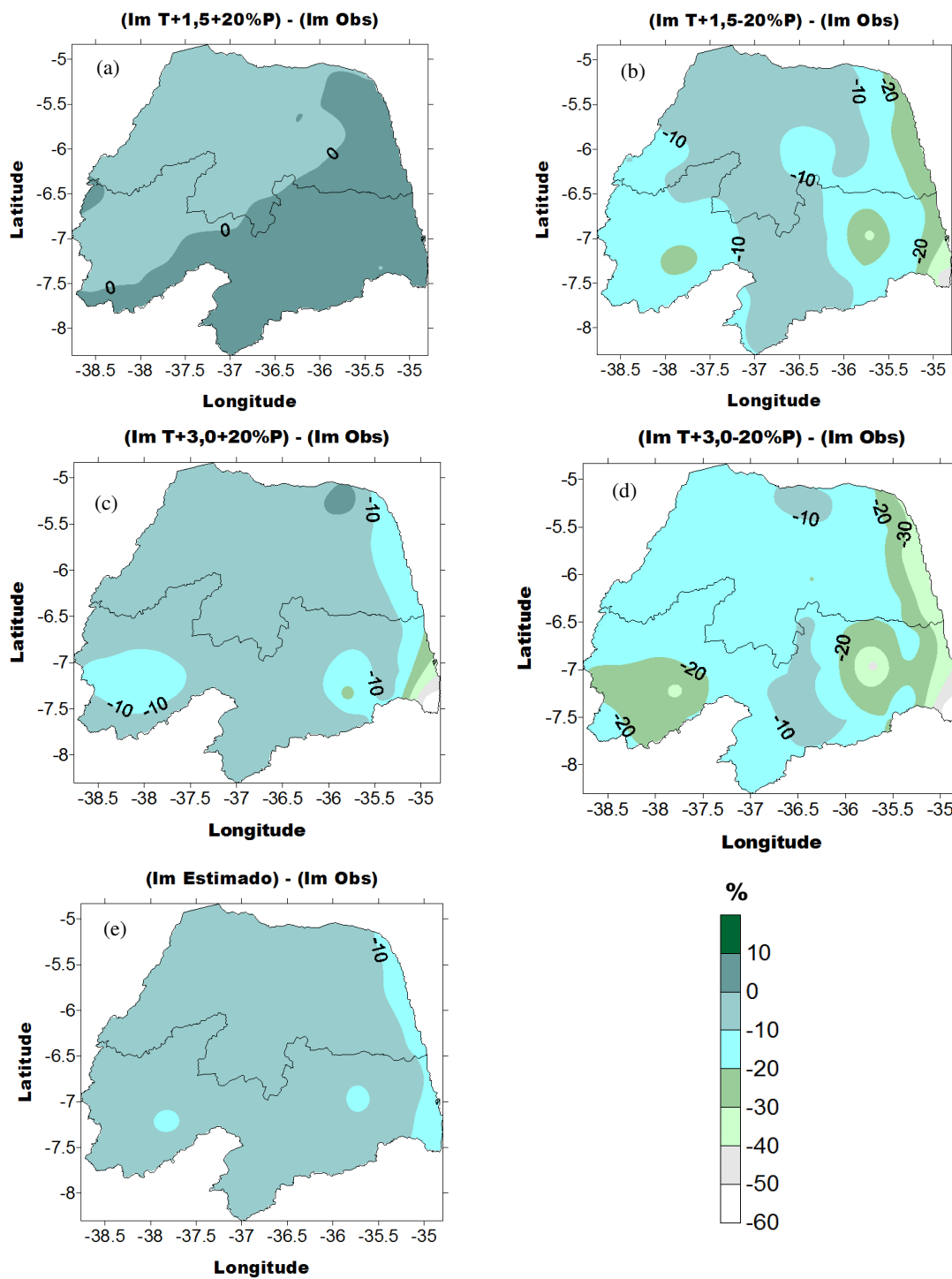
#### 4.3.12 Cenários de Anomalias do Índice Efetivo de umidade

Analisando as anomalias para o cenário “B2” do IPCC com aumento e redução de 20% da precipitação são mostradas nas (Figuras 18a e 18b). Verificam-se na (Figura 18a), valores entre (-10 a 10%) onde as anomalias negativas cobrem toda parte oeste dos dois Estados, com exceção dos extremos noroeste e sudoeste da Paraíba, e as positivas a parte leste. Ressalta-se que a (Figura 18a) apresenta o Im estimado com um aumento de temperatura de 1,5°C e aumento da precipitação em 20% menos Im atual (Figura 17a). Portanto, valores de anomalias positivas indicam condição mais úmida

que atual e valores de anomalias negativas indicam condições mais seca que a atual. Entretanto, no caso do cenário apresentado na (Figura 18a), as anomalias estão muito próximas de zero. Isto significa que o aumento de temperatura de  $1,5^{\circ}\text{C}$  foi compensado pelo aumento de 20% na precipitação, ou seja, mesmo em um cenário otimista de 20% de aumento das chuvas as condições de aridez no semi-árido não diminuem caso a temperatura do ar aumenta apenas  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Seguindo o mesmo raciocínio e analisando a Figura 18b (cenário com aumento de  $1,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura do ar e diminuição de 20% na precipitação), notam-se valores variando de (-20 a -40%) em todo litoral leste, significa que nessa região o clima que atualmente é úmido tenderá a ficar sub-úmido seco. No oeste da PB onde o clima é sub-úmido seco tenderá a ficar semi-árido. Nas demais partes dos dois Estados à aridez também tenderá a aumentar e em algumas áreas e o clima poderá torna-se árido na parte da Borborema na PB, e partes do Oeste Potiguar, do Central Potiguar e do Agreste Potiguar, no RN.

Para o cenário “A2” do IPCC com aumento e redução de 20% da precipitação respectivamente, são mostradas nas (Figuras 18c e 18d). Na (Figura 18c), observa-se uma modificação do clima no litoral leste e no extremo oeste da PB mostrando um cenário de clima mais seco que o atual, nas demais áreas não são verificadas mudanças climáticas intensas. Já a (Figura 18d) é verificado na maior parte da região em estudo, anomalias negativas em toda área, indicando assim uma área de condições mais seca. Este fato era esperado, pois, neste cenário tem-se aumento de temperatura do ar em  $3^{\circ}\text{C}$  e diminuição da precipitação em 20% resultando assim, um aumento significativamente da aridez.

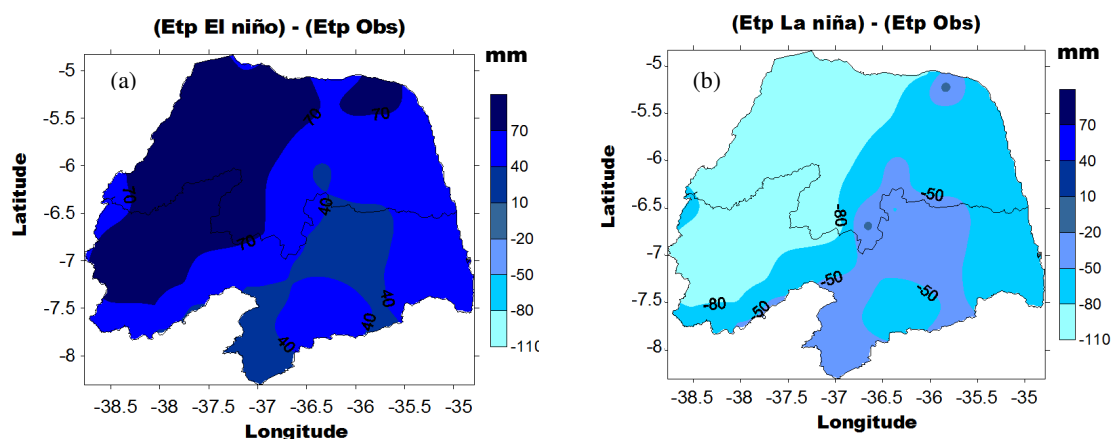
De todos esses cenários aqui apresentados, o cenário mais semelhante com o cenário atual seria o da anomalia do Im Estimado (Figura 18e), pois essas diferenças são bem pequenas entre elas, mostrando que o clima praticamente não muda, mas que ainda segue o mesmo raciocínio dos outros cenários, indicando que no litoral o clima é mais úmido e os valores vão aumentando em direção ao oeste dos Estados.



**Figura 18.** Anomalias de Im em relação ao Im médio anual observado (1966-2003): (a) para cenário “B2” com aumento de 20% da precipitação; (b) para cenário “B2” redução de 20% da precipitação; (c) para o cenário “A2” com aumento de 20% da precipitação; (d) para cenário “A2” com redução de 20% da precipitação; (e) estimada usando projeções de temperatura do ar e precipitação do IPCC para 2011-2040.

#### 4.4 Anomalias das Componentes Hídricas em eventos de El Niño e La Niña

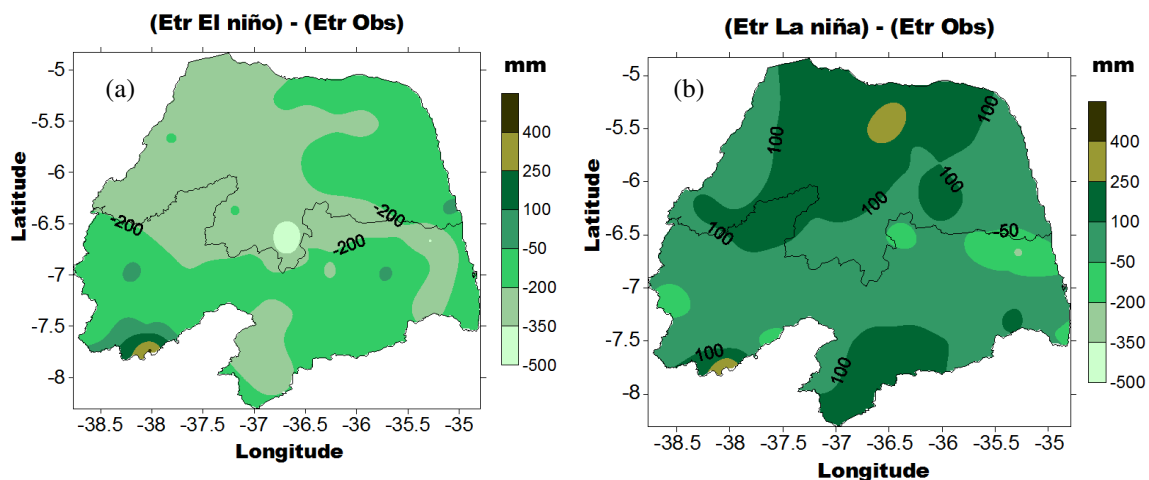
A Figura 19 mostra as anomalias da distribuição espacial anual da ETP nos anos dos eventos de El Niño (Figura 19a) e La Niña (Figura 19b) para os Estados do RN e PB. Observaram-se valores das anomalias de ETP entre 10 a 70 mm em anos com eventos de El Niño (Figura 19a) e entre -110 a -50 mm anos com eventos de La Niña (Figura 19b). Verifica-se uma um comportamento inverso nos valores de anomalia de ETP em anos de El Niño e La Niña, pois nas regiões em que se obtiveram maiores valores (em torno de 70 mm) em anos de El Niño, foram vistos menores valores (em torno de -110 mm) em anos de La Niña. O que pode justificar o quanto realmente a atmosfera absorveu de vapor d'água. Isso porque em anos de El Niño tem-se uma configuração com clima seco, representado por temperatura do ar elevada e menores valores de precipitação, o inverso seria em anos de eventos com La Niña.



**Figura 19** - Anomalias da Evapotranspiração Potencial (mm): (a) El Niño, (b) La Niña.

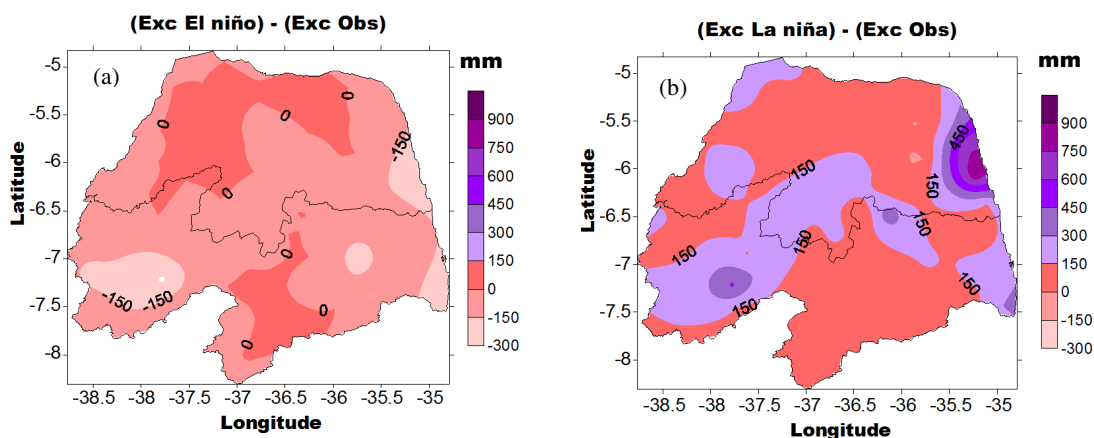
Quanto às anomalias da distribuição espacial anual da ETR em anos de El Niño (Figura 20a) e La Niña (Figura 20b) para os Estados do RN e PB, observaram-se valores com variação aproximadamente entre -350 a 250 mm nos dois casos. Observa-se que em anos de El Niño, são encontrados menores valores (-350 mm) nas regiões do Oeste Potiguar, central Potiguar, nordeste do Sertão Paraibano, sul da Borborema e Leste do Agreste Paraibano e com isso à uma redução de ETR decorrente da redução de chuva, por outro lado em anos de La Niña, os valores aumentam para 100 mm, devido o aumento de chuva, nesse evento, houve também um aumento na ETR. Em ambas

situações apresentam valor máximo no sudoeste do Sertão Paraibano mostrando o quanto realmente foi evaporado de água para a superfície da atmosfera.



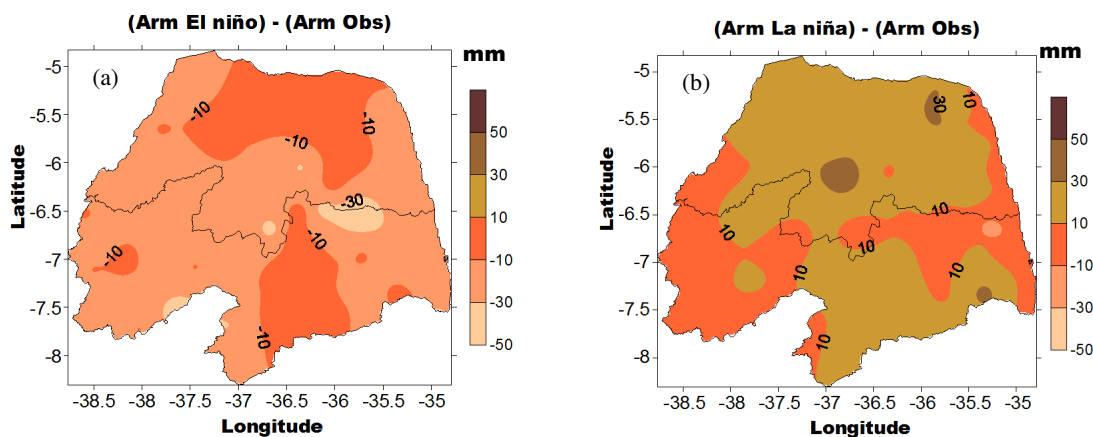
**Figura 20** - Anomalias da Evapotranspiração Real (mm): (a) El Niño, (b) La Niña.

As anomalias do EXC em eventos de El Niño e La Niña para os Estados do RN e PB são mostradas na (Figura 21a e 21b). Os valores apresentam variação entre (-300 a 150 mm) nos anos de El Niño e entre (0 a 750 mm) nos anos de La Niña. Em anos de El Niño (Figura 21a), são vistos valores positivos acima de (0 e 150 mm) em boa parte do Oeste Potiguar, norte do Central Potiguar e Leste Potiguar e na região da Borborema. Enquanto que no campo de EXC em anos de La Niña, são vistos valores positivos na Mesorregião Leste Potiguar (superiores a 300 mm) resultantes de regimes de precipitação significantes no litoral leste, o que representa um maior escoamento nas camadas mais profundas dos lençóis freáticos.



**Figura 21** – Anomalias do Excedente Hídrico (mm): (a) El Niño, (b) La Niña.

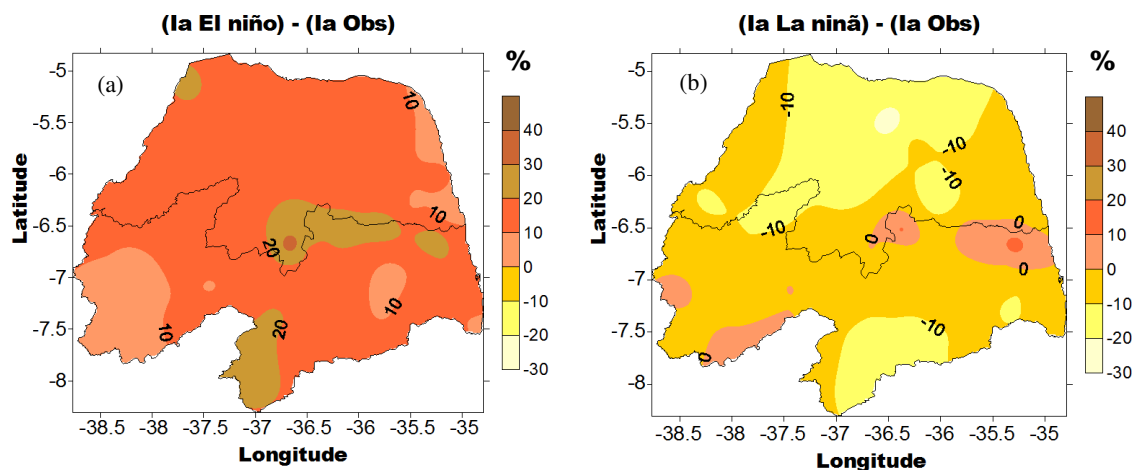
Os campos das anomalias do ARM em anos de El Niño e La Niña são mostradas nas (Figuras 22a e 22b). Os intervalos com valores entre (-50 a -10 mm) são vistos em anos de El Niño e entre (-10 a 30 mm) em anos de La Niña. Na (Figura 22a), são vistos maiores valores acima de (-10 e 10 mm) em todo o leste do Oeste Potiguar, norte do Central Potiguar e oeste do Agreste Potiguar, assim como no leste da Borborema e Oeste do Agreste Paraibano. Por outro lado, na (Figura 22b), são vistos nas três Mesorregiões do RN, valores acima de 10 mm e valores mais significativos, enquanto que valores entre (30 a 50 mm) são vistos no Agreste Potiguar e região Central Potiguar. Nesse último caso, teria uma maior quantidade de armazenamento de água no solo.



**Figura 22-** Anomalias do Armazenamento de água no solo (mm): (a) El Niño, (b) La Niña.

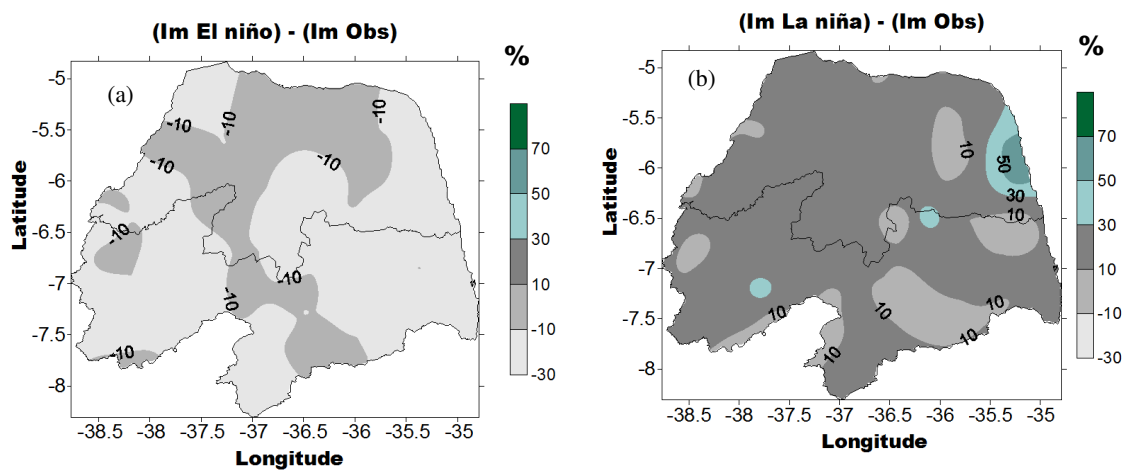
A análise das anomalias do Ia durante anos de El Niño e La Niña para os Estados do RN e PB é mostradas nas (Figuras 23a e 23b). Em anos de El Niño, foram encontrados valores entre (0 a 30%), já em anos de La Niña entre (-20 a 0%). Verificam-se valores significativos em anos de El Niño, indicando quão árida é a região, por outro lado, em anos de La Niña, os valores das anomalias são pequenos.





**Figura 23** - Anomalias do Índice de Aridez (%): (a) la El Niño, (b) la La Niña.

A análise das anomalias do Im em anos de El Niño e La Niña é visto nas (Figuras 24a e 24b). Os valores têm intervalos entre (-30 a -10%) em anos de El Niño e entre (-10 a 50%) em anos de La Niña. O que indica que em anos de El Niño o Ia médio climatológico é superior, já para anos de La Niña o Ia médio climatológico em boa parte da região em estudo, é menor.



**Figura 24**- Anomalias do Índice Efetivo de Umidade (%): (a) Im El Niño, (b) Im La Niña.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A abordagem principal deste trabalho foi avaliar os impactos das componentes (variáveis de saída) do balanço hídrico climático para os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, decorrentes do aumento da temperatura média anual do ar e aumento/redução da precipitação total anual. Também foram avaliadas as variabilidades climáticas interanual das componentes do balanço hídrico para anos com eventos de La Niña e El Niño. De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos, conclui-se que:

As anomalias de ETP obtidas para todos os cenários foram superiores às encontradas para os períodos de El Niño, ou seja, mesmo para condições de aumento de 1,5°C da temperatura do ar, cenário bastante provável, as demandas de água para a atmosfera nos dois Estados são superiores às observadas nos anos mais secos.

Há indicação de que o clima em todo o litoral leste, atualmente é úmido e tenderá a ficar sub-úmido seco. No oeste da Paraíba, onde o clima é sub-úmido seco tenderá a ficar semi-árido. Nas demais partes dos dois Estados, a aridez também tenderá a aumentar e em algumas áreas, o clima poderá torna-se árido, como parte da Borborema, na Paraíba e partes do Oeste Potiguar, do Central Potiguar e do Agreste Potiguar no Rio Grande do Norte. Mesmo no cenário mais otimista, aumento de apenas 1,5°C na temperatura média anual do ar e aumento de 20% da precipitação, os índices de aridez obtidos, em geral, são superiores aos atuais, porém não são capazes de modificar o clima atual nos dois Estados.

As projeções mostraram tendência para um clima mais seco, diminuição na umidade do solo, redução na vazão dos rios, produzindo uma redução na umidade relativa na atmosfera dos dois Estados.

Os fenômenos naturais El Niño e La Niña influenciaram na temperatura e na precipitação dos Estados do RN e PB, e conseqüentemente, nas componentes do balanço hídrico, de modo que, o solo tendeu a ficar mais seco no período de El Niño, ou seja, condições favoráveis ao aumento da aridez nos dois Estados. Enquanto que nos períodos de La Niña, os cenários mostraram aumento da evaporação para atmosfera, decorrente da maior taxa de evaporação de água da superfície para atmosfera e aumento da umidade do solo. Isso ocorreu devido ao aumento da precipitação que por sua vez,

aumenta a evaporação e supri parte das necessidades hídricas do solo, faz com que haja uma redução da aridez nos dois Estados.

### **SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

Baseado no que foi desenvolvido neste estudo, sugere-se:

- Construção de Balanço Hídrico para cenários do IPCC fazendo downscaling para a região Nordeste do Brasil para uma grade de no máximo 60 km x 60 km.
  
- Realização dos cenários para outros Estados do NEB e a verificação de possíveis impactos nas componentes do balanço radiativo climático, como fluxos de calor sensível e latente nas regiões, além de buscar a influência no comportamento destas componentes em anos de El Niño e La Niña.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Uso de modelos de circulação geral da atmosfera para simular o clima e a variabilidade climática.** In: João Lima Sant'Anna Neto; João Afonso Zavatin. (Org.). Variabilidade e Mudanças Climáticas. 1a ed. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2000, v., p. 83-93.

ALVES, J. M. D.; KAYANO, M.T. **Estudos preliminares da precipitação no Sul do Ceará durante a pré-estação das chuvas.** Climanálise, v.6, p.42-50, 1991.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em [www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br) acessado em 2007.

CAMARGO, A.P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1971. (Boletim Técnico, 116).

CAVALCANTI, I. F. A., KOUSKY, V.E. **Influência da Circulação da Escala Sinótica na Circulação da Brisa Marítima na Costa NNE da América do Sul.** INPE-2573-PRE/221, INPE, São José dos Campos (SP), 1982, 13p.

CAVALCANTI, E.P.; SILVA, E.D.V., **Estimativa da temperatura di ar em função das coordenadas locais.** In: VIII Congresso Brasileiro De Meteorologia E Ii Latino Americano E Ibérico De Meteorolgia, 1994, Belo Horizonte. Anais: A meteorologia na prevenção dos desastres Naturais, 1994, v1.p. 154-157.

CAVALCANTI, E.P.; SILVA, V.P.R; SOUZA, 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, n1, p 140—147, 2006.

COHEN, J. C. P., SILVA DIAS, M.A F., NOBRE, C.A. . **Aspectos climatológicos das linhas de instabilidades da Amazônia.** Climanálise, 4(11), p. 34-39, 1989

FERREIRA, N. J., CHAN, C.S., SATYAMURTI, P.. **Análise dos distúrbios ondulatório de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6, 1990, Salvador, Rio de Janeiro, p. 462-466.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil.** 80p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1983.

HASTENRTH, S.; HELLER, L. **Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil.** Quarterly journal of the Royal Meteorological society, v 103, n 435, p 77 – 92, 1977.

HASTENRATH, S. **Climate And Circulation Of The Tropics,** D. Reidel Pub.Co., 1985., p.455.

HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. **Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies.** Journal of Climate, 6, 743-758, 1993.

HAYLOCK, M. R., PETERSON, T. C., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIÇÃO, Y. M. T., BAEZ, J., BARROS, V. R., BERLATO, M. A., BIDEGAIN, M., CORONEL, G., GARCIA, V. J., GRIMM, A. M., KAROLY, D., MARENGO, J. A., MARINO, M. B., MONCUNILL, D. F., NECHET, D., QUINTANA, J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J. L., TREBEJO, I., VINCENT, L. A. **Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature.** Journal of Climate, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

IBGE, disponível <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartograma.html> acessado em 2010.

IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

KOUSKY, V. E. **Frontal influences on Northeast Brazil.** Mon. Wea. Ver., 107(9), p.1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. L. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic.** Tellus, v. 33, p. 538-551, Nov. 1981.

KRISHAN, A. **Agroclimatic classification methods and their application in Índia.** In: Climatic classification: a consultant's Meeting. Patancheru: ICRISAT, 1980.

LANDIM, P.M.B., **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.** DGA, IGCE, UNESP/ Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto didático 02, 20 pp. 2000.

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil.** Brasília: Parcerias Estratégicas, n. 27, p. 149-176, 2008.

MARENGO, J. A.; SILVA DIAS, M. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos.** Águas Doces no Brasil – capital ecológico usos múltiplos exploração racional e conservação. 3 ed.: IEA/USP, v., p. 63-109, 2006.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; GAN, M. A. **Structure and evolution of the large-scale flow and an embedded upper tropospheric cyclonic vortex over northeast Brazil.** Mon.Weather Rev., v. 129, p. 1673-1688, 2001.

MOLION, L. C. B. **Um século e meio de aquecimento global.** Cadernos de Geociências, n. 15, p. 45-56. 1995.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão das chuvas no Nordeste brasileiro,** Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. **The climatology of drought and drought prediction.** The impact of variations on agriculture, v.2,p.305-323, 1988.

NOBRE, C. A. , MOLION., L.C.B.. **The Climatology of Droughts and Drought Prediction., In: Impacts of Climatic Variations on Agriculture**, v.2 : Assesments in semi-arid regions, M. P. Parry, T.R. Carter e N. T. Konijn (eds.), 1988, D. Reidel Pub. Co., 764p.

OLIVER, J.W. **Climate and Man's Environment: Na Introduction to Applied Climatology**. New York : Jonh Wiley & Sons, INC, 1973, 517p.

OMETTO, J. C. . **Adaptacao e Simplificacao do Metodo de Penman As Condicoes Climaticas do Estado de Sao Paulo**. In: IV Simpósio Brasileiro De Hidrologia E Recursos Hidricos, 1981. Fortaleza - CE. p. 0-0.

PENMAN, H. L. **Evaporation : an Introductory Survey**. Netherlands. J. Agric. Sci, n. 4, p. 9 – 29. 1956.

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

PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A. **Susceptibilidade à desertificação**. Revista Florestal, v.11, n.1, p.27-33, B 1998.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1996. 132p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

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

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Relatório 4 “Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços**

**Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI**". 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.

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**, 2006, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SILVA, V.P.R.; SOUZA, F.A.S.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P.; SILVA, B.B.; **Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. Journal of Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics**, London, England, v.1, n.68, p 781-792, 2006.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B. de; SANS, L. M. A. **Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

SOUZA, S. S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M. G.; AMORIM, M. C.; MENEZES, P. C. P.; PINTO, C. A. M.. **O Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE – PROCLIMA**. Boletim da Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.1, p.15-24, 2001.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n. 1, p. 1-14, 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.



# APÊNDICE

**Tabela 6.** Balanço Hídrico para o RN e PB, com dados médios climatológicos para o período de 1966 a 2003 (Cenário atual).

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	822	22,8	1111	48	788	33	29	-14
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	2019	25,1	1393	66	1223	768	12	48
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	867	26,8	1712	23	867	0	49	-30
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	888	24,8	1349	27	868	20	36	-20
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	866	22,2	1056	51	812	54	23	-9
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1380	23,2	1153	65	991	389	14	25
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	833	24,7	1333	32	722	111	46	-19
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	728	26,6	1652	16	728	0	56	-34
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	484	24,2	1265	0	484	0	62	-37
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	406	24,2	1265	0	406	0	68	-41
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	789	25,9	1523	24	711	78	53	-27
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	838	26,2	1587	27	770	68	51	-27
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	475	23,9	1232	1	475	0	61	-37
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	776	22,2	1063	49	777	0	27	-16
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	506	23,3	1169	15	506	0	57	-34
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	902	22,7	1108	46	782	120	29	-7
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	407	23,7	1207	0	407	0	66	-40
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	724	25,7	1484	4	724	0	51	-31
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	830	24,9	1361	24	830	0	39	-23
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	741	26,6	1672	16	741	0	56	-33
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	456	23,1	1143	6	456	0	60	-36
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	1045	26,1	1561	30	810	235	48	-14
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1293	26,2	1588	40	881	411	44	-1
Oliveiros- PB	-36,25	-6,98	545	454	23,0	1132	2	454	0	60	-36
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	428	23,3	1164	5	428	0	63	-38
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	379	23,7	1213	1	379	0	69	-41
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	646	23,2	1160	30	638	8	45	-26
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	873	23,3	1169	45	870	73	32	-13
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	517	22,9	1125	14	517	0	54	-32
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	993	26,5	1654	31	859	133	48	-21
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	1027	26,4	1626	31	832	195	49	-17
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	469	23,0	1132	12	469	0	59	-35
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	1085	25,0	1373	38	990	68	28	-12
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	579	25,5	1454	16	579	0	60	-36
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	806	25,2	1409	27	650	156	54	-21
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	772	22,3	1071	38	737	35	31	-15
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	583	26,3	1600	2	583	0	64	-38
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	783	26,4	1616	26	783	0	52	-31
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	595	27,0	1733	0	595	0	66	-39
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	713	27,5	1863	8	713	0	62	-37
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	673	27,1	1774	12	673	0	62	-37
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	797	26,9	1723	23	797	0	54	-32

**Tabela 6 - Continuação**

Canguaretama- RN	<b>-35,11</b>	<b>-6,38</b>	<b>48</b>	1416	25,3	1422	52	1039	350	27	8
Cerro corá- RN	<b>-36,35</b>	<b>-6,05</b>	<b>590</b>	648	22,6	1090	32	576	72	47	-22
Florânea- RN	<b>-36,82</b>	<b>-6,1</b>	<b>210</b>	639	25,9	1514	13	639	0	58	-35
João camara- RN	<b>-35,82</b>	<b>-5,53</b>	<b>140</b>	746	25,2	1406	2	718	0	49	-29
Lages- RN	<b>-36,25</b>	<b>-5,7</b>	<b>198</b>	585	25,3	1419	3	585	0	59	-35
Macau- RN	<b>-36,63</b>	<b>-5,12</b>	<b>2</b>	566	26,8	1705	1	566	0	67	-40
Mossoró- RN	<b>-37,35</b>	<b>-5,2</b>	<b>15</b>	777	27,4	1832	15	777	0	58	-35
Ouro branco- RN	<b>-36,95</b>	<b>-6,7</b>	<b>195</b>	620	26,2	1581	11	620	0	61	-36
Parazinho- RN	<b>-35,84</b>	<b>-5,22</b>	<b>71</b>	663	25,2	1402	4	663	0	53	-32
Parelhas- RN	<b>-36,66</b>	<b>-6,69</b>	<b>266</b>	607	25,0	1381	20	568	39	59	-33
Pureza- RN	<b>-35,53</b>	<b>-5,53</b>	<b>60</b>	969	25,5	1448	39	900	69	38	-18
Santa cruz- RN	<b>-36,02</b>	<b>-6,23</b>	<b>240</b>	534	24,9	1364	0	534	0	61	-36
Santo Antonio- RN	<b>-35,47</b>	<b>-6,3</b>	<b>95</b>	860	25,4	1436	25	845	16	41	-24
São Bento do Norte- RN	<b>-36,03</b>	<b>-5,07</b>	<b>3</b>	616	26,2	1579	4	616	0	61	-37
São Fernando- RN	<b>-37,18</b>	<b>-6,38</b>	<b>135</b>	666	26,8	1699	13	666	0	61	-36
São Gonçalo do Amarante- RN	<b>-35,33</b>	<b>-5,78</b>	<b>20</b>	1388	25,6	1472	50	1072	316	27	5
São João do sabugi- RN	<b>-37,2</b>	<b>-6,72</b>	<b>175</b>	720	26,4	1653	23	705	14	57	-34
São José de Mipibu- RN	<b>-35,23</b>	<b>-6,07</b>	<b>50</b>	1401	25,4	1432	52	1061	312	26	6
São Miguel- RN	<b>-38,5</b>	<b>-6,22</b>	<b>305</b>	775	26,2	1583	26	775	0	51	-31
São Paulo de Potengi- RN	<b>-35,77</b>	<b>-5,9</b>	<b>97</b>	596	25,6	1472	0	596	0	60	-36
São Rafael- RN	<b>-36,92</b>	<b>-5,8</b>	<b>70</b>	680	26,9	1720	9	680	0	60	-36
Serra Negra do Norte- RN	<b>-37,4</b>	<b>-6,67</b>	<b>160</b>	808	26,8	1708	25	764	43	55	-31
Tabuleiro Grande- RN	<b>-38,07</b>	<b>-5,93</b>	<b>180</b>	809	26,9	1723	27	772	37	55	-31
Touros- RN	<b>-35,47</b>	<b>-5,2</b>	<b>4</b>	1256	25,6	1478	45	973	256	34	-3
Umarizal- RN	<b>-37,82</b>	<b>-5,98</b>	<b>210</b>	836	26,5	1645	29	836	0	49	-30
Upanema- RN	<b>-37,27</b>	<b>-5,63</b>	<b>45</b>	714	27,3	1814	4	714	0	61	-36

**Tabela 7.** Balanço Hídrico para o RN e PB utilizando dados dos Cenários de Temperatura do ar e Precipitação do IPCC (para o período de 2011 à 2040).

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	822	24,1	1263	41	822	0	35	-21
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	2019	26,5	1635	60	1352	666	17	30
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	867	28,3	2111	9	867	0	59	-35
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	888	26,2	1577	13	916	0	42	-25
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	866	23,5	1188	43	854	12	28	-16
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1380	24,6	1315	61	1061	318	19	13
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	833	26,1	1559	29	778	55	50	-27
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	728	28,1	2026	6	728	0	64	-38
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	484	25,5	1465	0	484	0	67	-40
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	406	25,5	1465	0	406	0	72	-43
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	789	27,2	1817	23	759	30	58	-33
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	838	27,7	1934	21	827	11	57	-34
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	475	25,4	1442	0	475	0	67	-40
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	776	23,7	1213	31	776	0	36	-22
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	506	24,8	1357	5	506	0	63	-38
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	902	24,1	1257	40	829	73	34	-15
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	407	25,2	1408	0	407	0	71	-43
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	724	27,0	1759	0	752	0	57	-34
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	830	26,3	1593	12	830	0	48	-29
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	741	28,1	2055	4	741	0	64	-38
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	456	24,5	1303	4	456	0	65	-39
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	1045	27,4	1868	28	861	184	54	-22
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1293	27,6	1905	37	959	334	50	-12
Olivedos- PB	-36,25	-6,98	545	454	24,5	1306	0	454	0	65	-39
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	428	24,7	1331	4	428	0	68	-41
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	379	25,2	1416	0	379	0	73	-44
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	646	24,7	1344	15	646	0	52	-31
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	873	24,7	1340	39	831	42	38	-20
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	517	24,3	1279	10	517	0	60	-36
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	993	27,9	1996	28	914	79	54	-29
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	1027	27,8	1958	28	890	136	55	-26
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	469	24,5	1306	3	469	0	64	-38
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	1085	26,3	1609	24	1085	0	33	-20
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	579	27,0	1748	4	579	0	67	-40
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	806	26,6	1661	25	693	113	58	-28
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	772	23,7	1208	26	772	0	36	-22
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	583	27,8	1952	0	583	0	70	-42
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	783	27,9	1976	12	783	0	60	-36
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	595	28,5	2140	0	595	0	72	-43
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	713	29,0	2326	0	713	0	69	-42
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	673	28,6	2198	0	673	0	69	-42
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	797	28,4	2127	8	797	0	63	-38

Tabela 7 - Continuação

Canguaretama- RN	<b>-35,11</b>	<b>-6,38</b>	<b>48</b>	1416	26,7	1675	49	1156	260	31	<b>-3</b>
Cerro corá- RN	<b>-36,35</b>	<b>-6,05</b>	<b>590</b>	648	24,1	1250	25	607	41	51	<b>-28</b>
Florânea- RN	<b>-36,82</b>	<b>-6,1</b>	<b>210</b>	639	27,4	1832	3	639	0	65	<b>-39</b>
João camara- RN	<b>-35,82</b>	<b>-5,53</b>	<b>140</b>	746	26,7	1682	0	746	0	56	<b>-33</b>
Lages- RN	<b>-36,25</b>	<b>-5,7</b>	<b>198</b>	585	26,8	1699	0	585	0	66	<b>-39</b>
Macau- RN	<b>-36,63</b>	<b>-5,12</b>	<b>2</b>	566	28,3	2101	0	566	0	73	<b>-44</b>
Mossoró- RN	<b>-37,35</b>	<b>-5,2</b>	<b>15</b>	777	28,9	2281	1	777	0	66	<b>-40</b>
Ouro branco- RN	<b>-36,95</b>	<b>-6,7</b>	<b>195</b>	620	27,6	1894	7	620	0	67	<b>-40</b>
Parazinho- RN	<b>-35,84</b>	<b>-5,22</b>	<b>71</b>	663	26,7	1676	0	663	0	60	<b>-36</b>
Parelhas- RN	<b>-36,66</b>	<b>-6,69</b>	<b>266</b>	607	26,5	1647	13	607	0	63	<b>-38</b>
Pureza- RN	<b>-35,53</b>	<b>-5,53</b>	<b>60</b>	969	27,0	1740	16	969	0	44	<b>-27</b>
Santa cruz- RN	<b>-36,02</b>	<b>-6,23</b>	<b>240</b>	534	26,3	1597	0	534	0	67	<b>-40</b>
Santo Antonio- RN	<b>-35,47</b>	<b>-6,3</b>	<b>95</b>	860	26,8	1694	4	860	0	49	<b>-30</b>
São Bento do Norte- RN	<b>-36,03</b>	<b>-5,07</b>	<b>3</b>	616	27,6	1887	0	616	0	67	<b>-40</b>
São Fernando- RN	<b>-37,18</b>	<b>-6,38</b>	<b>135</b>	666	28,3	2093	1	666	0	68	<b>-41</b>
São Gonçalo do Amarante- RN	<b>-35,33</b>	<b>-5,78</b>	<b>20</b>	1388	27,0	1741	44	1161	227	33	<b>-7</b>
São João do sabugi- RN	<b>-37,2</b>	<b>-6,72</b>	<b>175</b>	720	27,9	1994	19	720	0	64	<b>-38</b>
São José de Mipibu- RN	<b>-35,23</b>	<b>-6,07</b>	<b>50</b>	1401	26,7	1687	47	1173	228	30	<b>-5</b>
São Miguel- RN	<b>-38,5</b>	<b>-6,22</b>	<b>305</b>	775	27,7	1931	12	775	0	60	<b>-36</b>
São Paulo de Potengi- RN	<b>-35,77</b>	<b>-5,9</b>	<b>97</b>	596	27,0	1742	0	596	0	66	<b>-39</b>
São Rafael- RN	<b>-36,92</b>	<b>-5,8</b>	<b>70</b>	680	28,4	2126	0	680	0	68	<b>-41</b>
Serra Negra do Norte- RN	<b>-37,4</b>	<b>-6,67</b>	<b>160</b>	808	28,3	2100	16	808	0	62	<b>-37</b>
Tabuleiro Grande- RN	<b>-38,07</b>	<b>-5,93</b>	<b>180</b>	809	28,4	2128	15	809	0	62	<b>-37</b>
Touros- RN	<b>-35,47</b>	<b>-5,2</b>	<b>4</b>	1256	27,1	1783	38	1113	143	38	<b>-15</b>
Umarizal- RN	<b>-37,82</b>	<b>-5,98</b>	<b>210</b>	836	28,0	2014	14	836	0	58	<b>-35</b>
Upanema- RN	<b>-37,27</b>	<b>-5,63</b>	<b>45</b>	714	28,8	2254	0	714	0	68	<b>-41</b>

**Tabela 8.** Anomalias componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 3,0°C na Temperatura do ar e aumento de 20% na Precipitação.

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	986	25,8	680	-26	198	-33	16	-13
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	2389	28,1	1134	-17	614	-182	15	-41
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	1040	29,8	1813	-23	173	0	21	-13
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	1066	27,8	1059	-25	232	-20	19	-13
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	1039	25,2	594	-24	228	-54	14	-13
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1656	26,2	740	-13	392	-116	13	-27
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	1000	27,7	1040	-12	278	-111	12	-16
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	873	29,6	1688	-16	146	0	18	-11
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	580	27,2	920	0	97	0	12	-7
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	488	27,2	921	0	81	0	10	-6
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	947	28,9	1380	-24	236	-78	14	-14
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	1005	29,2	1560	-27	236	-68	17	-14
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	570	26,9	908	-1	95	0	12	-7
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	931	25,2	633	-32	155	0	18	-11
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	607	26,3	803	-15	101	0	12	-7
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	1082	25,7	672	-23	270	-90	11	-16
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	489	26,7	865	0	81	0	10	-6
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	869	28,7	1297	-4	178	0	16	-10
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	996	27,9	1080	-22	166	0	20	-12
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	889	29,6	1730	-16	148	0	18	-11
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	547	26,1	725	-6	91	0	11	-6
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	1254	29,1	1448	-10	384	-175	12	-20
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1551	29,2	1499	-16	454	-196	12	-26
Olivedos- PB	-36,25	-6,98	545	545	26,0	742	-2	91	0	11	-7
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	514	26,3	759	-5	86	0	10	-6
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	455	26,7	874	-1	76	0	9	-6
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	776	26,2	788	-28	137	-8	15	-10
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	1048	26,3	770	-16	678	-73	14	-15
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	620	25,9	698	-10	103	0	12	-7
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	1191	29,5	1626	-31	133	-133	22	-21
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	1232	29,4	1574	-9	399	-194	13	-20
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	563	26,0	742	-12	94	0	11	-7
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	1269	28,0	1100	-26	313	-68	19	-17
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	695	28,5	1304	-16	116	0	15	-9
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	967	28,2	1170	-12	304	-143	9	-16
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	927	25,3	617	-19	190	-35	14	-12
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	699	29,3	1582	-2	117	0	14	-9
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	940	29,4	1617	-26	157	0	19	-12
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	714	30,0	1848	0	119	0	14	-9
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	856	30,5	2123	-8	143	0	17	-10
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	807	30,1	1932	-12	135	0	16	-10
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	957	29,9	1829	-23	159	0	19	-12

Tabela 8 – Continuação

Canguaretama- RN	-35,11	-6,38	48	1666	28,3	1184	-27	556	-245	12	-28
Cerro corá- RN	-36,35	-6,05	590	778	25,6	676	-17	197	-67	9	-12
Florânea- RN	-36,82	-6,1	210	767	28,9	1415	-13	128	0	16	-10
João camara- RN	-35,82	-5,53	140	861	28,2	1215	-2	177	0	17	-10
Lages- RN	-36,25	-5,7	198	702	28,3	1237	-3	117	0	15	-9
Macau- RN	-36,63	-5,12	2	679	29,8	1792	-1	113	0	14	-8
Mossoró- RN	-37,35	-5,2	15	932	30,4	2054	-15	155	0	18	-11
Ouro branco- RN	-36,95	-6,7	195	744	29,2	1481	-11	124	0	15	-9
Parazinho- RN	-35,84	-5,22	71	796	28,2	1206	-4	133	0	17	-10
Parelhas- RN	-36,66	-6,69	266	728	28,0	1170	-20	160	-39	13	-10
Pureza- RN	-35,53	-5,53	60	1163	28,5	1292	-39	263	-69	20	-17
Santa cruz- RN	-36,02	-6,23	240	641	27,9	1084	0	107	0	13	-8
Santo Antonio- RN	-35,47	-6,3	95	1032	28,4	1209	-25	188	-16	20	-13
São Bento do Norte- RN	-36,03	-5,07	3	739	29,2	1466	-4	123	0	15	-9
São Fernando- RN	-37,18	-6,38	135	799	29,8	1783	-13	133	0	16	-10
São Gonçalo do Amarante- RN	-35,33	-5,78	20	1666	28,6	1271	-27	518	-241	15	-28
São João do sabugi- RN	-37,2	-6,72	175	863	29,5	1621	-17	158	-14	16	-11
São José de Mipibu- RN	-35,23	-6,07	50	1648	28,4	1200	-29	551	-242	13	-27
São Miguel- RN	-38,5	-6,22	305	930	29,2	1556	-26	155	0	19	-12
São Paulo de Potengi- RN	-35,77	-5,9	97	715	28,6	1272	0	119	0	14	-9
São Rafael- RN	-36,92	-5,8	70	816	29,9	1833	-9	136	0	17	-10
Serra Negra do Norte- RN	-37,4	-6,67	160	969	29,8	1791	-25	205	-43	17	-13
Tabuleiro Grande- RN	-38,07	-5,93	180	971	29,9	1835	-27	199	-37	18	-13
Touros- RN	-35,47	-5,2	4	1474	28,6	1351	-27	485	-240	14	-25
Umarizal- RN	-37,82	-5,98	210	1003	29,5	1714	-29	167	0	21	-13
Upanema- RN	-37,27	-5,63	45	856	30,3	2015	-4	143	0	17	-10

**Tabela 9.** Anomalias das componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 3,0°C na Temperatura do ar e redução de 20% na precipitação.

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	657	25,8	680	-48	-131	-33	34	-24
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	1593	28,1	1134	-37	319	-694	27	-68
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	693	29,8	1813	-23	-173	0	31	-19
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	711	27,8	1059	-27	-135	-20	34	-22
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	693	25,2	594	-50	-119	-54	35	-26
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1104	26,2	740	-53	113	-389	28	-50
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	666	27,7	1040	-32	-55	-111	26	-24
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	582	29,6	1688	-16	-146	0	27	-16
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	387	27,2	920	0	-97	0	21	-12
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	325	27,2	921	0	-81	0	17	-10
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	631	28,9	1380	-24	-80	-78	25	-20
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	670	29,2	1560	-27	-100	-68	27	-21
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	380	26,9	908	-1	-95	0	21	-12
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	621	25,2	633	-49	-156	0	36	-22
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	405	26,3	803	-15	-101	0	23	-14
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	721	25,7	672	-44	-60	-120	30	-29
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	326	26,7	865	0	-81	0	18	-11
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	579	28,7	1297	-4	-122	0	27	-16
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	664	27,9	1080	-24	-166	0	34	-20
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	593	29,6	1730	-16	-148	0	27	-16
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	365	26,1	725	-6	-91	0	20	-12
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	836	29,1	1448	-30	26	-235	24	-30
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1034	29,2	1499	-37	153	-411	22	-39
Olivedos- PB	-36,25	-6,98	545	363	26,0	742	-2	-91	0	21	-12
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	343	26,3	759	-5	-86	0	19	-11
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	303	26,7	874	-1	-76	0	17	-10
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	517	26,2	788	-30	-121	-8	28	-18
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	698	26,3	770	-45	329	-73	32	-26
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	413	25,9	698	-14	-103	0	23	-14
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	794	29,5	1626	-31	-65	-133	28	-25
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	821	29,4	1574	-31	-11	-195	26	-27
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	375	26,0	742	-12	-94	0	21	-13
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	846	28,0	1100	-38	-122	-68	37	-27
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	464	28,5	1304	-16	-116	0	23	-14
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	645	28,2	1170	-27	-5	-156	21	-24
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	618	25,3	617	-36	-119	-35	32	-23
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	466	29,3	1582	-2	-117	0	22	-13
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	627	29,4	1617	-26	-157	0	29	-17
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	476	30,0	1848	0	-119	0	21	-13
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	571	30,5	2123	-8	-143	0	24	-14
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	538	30,1	1932	-12	-135	0	23	-14
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	638	29,9	1829	-23	-159	0	28	-17



**Tabela 9 - Continuação**

Canguaretama- RN	<b>-35,11</b>	<b>-6,38</b>	<b>48</b>	1111	28,3	1184	-52	95	-350	30	<b>-42</b>
Cerro corá- RN	<b>-36,35</b>	<b>-6,05</b>	<b>590</b>	518	25,6	676	-32	-58	-72	23	<b>-21</b>
Florânea- RN	<b>-36,82</b>	<b>-6,1</b>	<b>210</b>	511	28,9	1415	-13	-128	0	25	-15
João camara- RN	<b>-35,82</b>	<b>-5,53</b>	<b>140</b>	574	28,2	1215	-2	-121	0	28	<b>-17</b>
Lages- RN	<b>-36,25</b>	<b>-5,7</b>	<b>198</b>	468	28,3	1237	-3	-117	0	24	<b>-14</b>
Macau- RN	<b>-36,63</b>	<b>-5,12</b>	<b>2</b>	453	29,8	1792	-1	-113	0	20	<b>-12</b>
Mossoró- RN	<b>-37,35</b>	<b>-5,2</b>	<b>15</b>	621	30,4	2054	-15	-155	0	26	<b>-16</b>
Ouro branco- RN	<b>-36,95</b>	<b>-6,7</b>	<b>195</b>	496	29,2	1481	-11	-124	0	23	-14
Parazinho- RN	<b>-35,84</b>	<b>-5,22</b>	<b>71</b>	530	28,2	1206	-4	-133	0	27	-16
Parelhas- RN	<b>-36,66</b>	<b>-6,69</b>	<b>266</b>	486	28,0	1170	-20	-83	-39	22	-16
Pureza- RN	<b>-35,53</b>	<b>-5,53</b>	<b>60</b>	775	28,5	1292	-39	-125	-69	34	-25
Santa cruz- RN	<b>-36,02</b>	<b>-6,23</b>	<b>240</b>	427	27,9	1084	0	-107	0	22	-13
Santo Antonio- RN	<b>-35,47</b>	<b>-6,3</b>	<b>95</b>	688	28,4	1209	-25	-156	-16	33	-21
São Bento do Norte- RN	<b>-36,03</b>	<b>-5,07</b>	<b>3</b>	493	29,2	1466	-4	-123	0	23	-14
São Fernando- RN	<b>-37,18</b>	<b>-6,38</b>	<b>135</b>	533	29,8	1783	-13	-133	0	24	-14
São Gonçalo do Amarante- RN	<b>-35,33</b>	<b>-5,78</b>	<b>20</b>	1110	28,6	1271	-49	39	-316	32	-41
São João do sabugi- RN	<b>-37,2</b>	<b>-6,72</b>	<b>175</b>	576	29,5	1621	-23	-130	-14	25	-16
São José de Mipibu- RN	<b>-35,23</b>	<b>-6,07</b>	<b>50</b>	1099	28,4	1200	-51	60	-312	32	-41
São Miguel- RN	<b>-38,5</b>	<b>-6,22</b>	<b>305</b>	620	29,2	1556	-26	-155	0	29	-18
São Paulo de Potengi- RN	<b>-35,77</b>	<b>-5,9</b>	<b>97</b>	476	28,6	1272	0	-119	0	23	-14
São Rafael- RN	<b>-36,92</b>	<b>-5,8</b>	<b>70</b>	544	29,9	1833	-9	-136	0	24	-15
Serra Negra do Norte- RN	<b>-37,4</b>	<b>-6,67</b>	<b>160</b>	646	29,8	1791	-25	-118	-43	26	-18
Tabuleiro Grande- RN	<b>-38,07</b>	<b>-5,93</b>	<b>180</b>	647	29,9	1835	-27	-125	-37	27	-18
Touros- RN	<b>-35,47</b>	<b>-5,2</b>	<b>4</b>	983	28,6	1351	-45	10	-256	31	-36
Umarizal- RN	<b>-37,82</b>	<b>-5,98</b>	<b>210</b>	669	29,5	1714	-29	-167	0	31	-19
Upanema- RN	<b>-37,27</b>	<b>-5,63</b>	<b>45</b>	571	30,3	2015	-4	-143	0	24	-15

**Tabela 10.** Anomalias das componentes do Balanço Hídrico para um aumento de 1,5°C na Temperatura do ar e aumento de 20% na precipitação.

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	986	24,3	373	-4	169	-5	6	-5
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	2389	26,6	610	-8	389	43	7	-19
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	1040	28,3	972	-17	173	0	12	-7
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	1066	26,3	571	-12	232	-20	7	-6
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	1039	23,7	327	-4	171	2	6	-5
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1656	24,7	404	-5	245	31	7	-11
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	1000	26,2	562	-3	202	-36	5	-8
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	873	28,1	908	-12	146	0	10	-6
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	580	25,7	499	0	97	0	5	-3
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	488	25,7	499	0	81	0	4	-3
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	947	27,4	738	-2	200	-43	6	-7
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	1005	27,7	842	-8	221	-53	8	-8
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	570	25,4	500	-1	95	0	6	-3
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	931	23,7	353	-11	155	0	7	-4
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	607	24,8	444	-8	101	0	6	-3
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	1082	24,2	368	-4	181	0	5	-6
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	489	25,2	477	0	81	0	5	-3
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	869	27,2	694	-4	178	0	7	-4
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	996	26,4	582	-10	166	0	10	-6
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	889	28,1	929	-15	148	0	10	-6
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	547	24,6	397	0	91	0	4	-3
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	1254	27,6	773	-3	233	-24	7	-10
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1551	27,7	799	-4	285	-26	7	-14
Olivedos- PB	-36,25	-6,98	545	545	24,5	411	-2	91	0	5	-3
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	514	24,8	414	1	86	0	4	-3
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	455	25,2	482	-1	76	0	4	-3
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	776	24,7	436	-12	137	-8	6	-5
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	1048	24,8	421	-6	596	9	8	-6
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	620	24,4	382	-1	103	0	5	-3
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	1191	28,0	864	-4	243	-44	8	-9
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	1232	27,9	838	-4	247	-42	7	-10
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	563	24,5	412	-8	94	0	5	-3
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	1269	26,5	592	-14	297	-51	7	-8
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	695	27,0	709	-13	116	0	8	-5
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	967	26,7	630	-2	182	-21	5	-8
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	927	23,8	339	-8	168	-14	5	-5
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	699	27,8	853	-2	117	0	8	-5
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	940	27,9	871	-15	157	0	11	-6
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	714	28,5	991	0	119	0	8	-5
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	856	29,0	1132	-8	143	0	10	-6
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	807	28,6	1034	-12	135	0	9	-6
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	957	28,4	981	-18	159	0	11	-7

**Tabela 10 - Continuação**

Canguaretama- RN	<b>-35,11</b>	<b>-6,38</b>	<b>48</b>	1666	26,8	636	-3	349	-38	6	<b>-13</b>
Cerro corá- RN	<b>-36,35</b>	<b>-6,05</b>	<b>590</b>	778	24,1	376	-6	139	-9	4	<b>-5</b>
Florânea- RN	<b>-36,82</b>	<b>-6,1</b>	<b>210</b>	767	27,4	767	-12	128	0	9	-5
João camara- RN	<b>-35,82</b>	<b>-5,53</b>	<b>140</b>	861	26,7	662	-2	177	0	8	<b>-5</b>
Lages- RN	<b>-36,25</b>	<b>-5,7</b>	<b>198</b>	702	26,8	674	-3	117	0	8	<b>-5</b>
Macau- RN	<b>-36,63</b>	<b>-5,12</b>	<b>2</b>	679	28,3	962	-1	113	0	8	<b>-5</b>
Mossoró- RN	<b>-37,35</b>	<b>-5,2</b>	<b>15</b>	932	28,9	1097	-15	155	0	11	<b>-6</b>
Ouro branco- RN	<b>-36,95</b>	<b>-6,7</b>	<b>195</b>	744	27,7	789	-6	124	0	8	-5
Parazinho- RN	<b>-35,84</b>	<b>-5,22</b>	<b>71</b>	796	26,7	658	-4	133	0	9	-5
Parelhas- RN	<b>-36,66</b>	<b>-6,69</b>	<b>266</b>	728	26,5	638	-7	160	-39	5	-6
Pureza- RN	<b>-35,53</b>	<b>-5,53</b>	<b>60</b>	1163	27,0	703	-24	263	-69	8	-10
Santa cruz- RN	<b>-36,02</b>	<b>-6,23</b>	<b>240</b>	641	26,4	585	0	107	0	6	-4
Santo Antonio- RN	<b>-35,47</b>	<b>-6,3</b>	<b>95</b>	1032	26,9	649	-21	188	-16	9	-7
São Bento do Norte- RN	<b>-36,03</b>	<b>-5,07</b>	<b>3</b>	739	27,7	781	-4	123	0	8	-5
São Fernando- RN	<b>-37,18</b>	<b>-6,38</b>	<b>135</b>	799	28,3	957	-13	133	0	9	-5
São Gonçalo do Amarante- RN	<b>-35,33</b>	<b>-5,78</b>	<b>20</b>	1666	27,1	680	-7	318	-41	8	-14
São João do Sabugi- RN	<b>-37,2</b>	<b>-6,72</b>	<b>175</b>	863	28,0	861	-4	158	-14	8	-6
São José de Mipibu- RN	<b>-35,23</b>	<b>-6,07</b>	<b>50</b>	1648	26,9	643	-6	339	-31	7	-12
São Miguel- RN	<b>-38,5</b>	<b>-6,22</b>	<b>305</b>	930	27,7	840	-15	155	0	11	-6
São Paulo de Potengi- RN	<b>-35,77</b>	<b>-5,9</b>	<b>97</b>	715	27,1	681	0	119	0	7	-4
São Rafael- RN	<b>-36,92</b>	<b>-5,8</b>	<b>70</b>	816	28,4	984	-9	136	0	9	-6
Serra Negra do Norte- RN	<b>-37,4</b>	<b>-6,67</b>	<b>160</b>	969	28,3	959	-12	205	-43	8	-8
Tabuleiro Grande- RN	<b>-38,07</b>	<b>-5,93</b>	<b>180</b>	971	28,4	984	-16	199	-37	9	-8
Touros- RN	<b>-35,47</b>	<b>-5,2</b>	<b>4</b>	1474	27,1	733	-7	334	-89	7	-14
Umarizal- RN	<b>-37,82</b>	<b>-5,98</b>	<b>210</b>	1003	28,0	898	-18	167	0	11	-7
Upanema- RN	<b>-37,27</b>	<b>-5,63</b>	<b>45</b>	856	28,8	1077	-4	143	0	10	-6

**Tabela 11.** Anomalias das componentes do Balanço Hídrico com um aumento de 1,5°C na Temperatura do ar e redução de 20% de Precipitação.

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>ARM (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>EXC (mm)</b>	<b>Ia (%)</b>	<b>Im (%)</b>
Água branca - PB	-37,65	-7,52	710	657	24,3	373	-46	-131	-33	27	-19
Alhandra- PB	-34,92	-7,43	49	1593	26,6	610	-27	194	-570	17	-55
Antenor Navarro- PB	-38,45	-6,73	240	693	28,3	972	-23	-173	0	25	-15
Araçagi- PB	-35,37	-6,85	170	711	26,3	571	-27	-135	-20	26	-17
Araruna- PB	-35,73	-6,52	580	693	23,7	327	-48	-119	-54	27	-21
Areia- PB	-35,71	-6,97	445	1104	24,7	404	-31	113	-389	15	-43
Barra de Juá- PB	-38,57	-6,53	500	666	26,2	562	-32	-55	-111	19	-20
Belém do Brejo- PB	-37,53	-6,18	190	582	28,1	908	-16	-146	0	21	-13
Barra de Santana- PB	-35,98	-7,53	350	387	25,7	499	0	-97	0	16	-10
Cabaceiras- PB	-36,28	-7,50	390	325	25,7	499	0	-81	0	14	-8
Conceição- PB	-38,52	-7,55	370	631	27,4	738	-24	-80	-78	19	-16
Condado- PB	-37,62	-6,90	260	670	27,7	842	-27	-100	-68	21	-17
Coxixola- PB	-36,61	-7,62	465	380	25,4	500	-1	-95	0	17	-10
Cuité - PB	-36,13	-6,48	620	621	23,7	353	-48	-156	0	29	-18
Desterro- PB	-37,10	-7,28	590	405	24,8	444	-15	-101	0	18	-11
Fagundes- PB	-35,8	-7,35	520	721	24,2	368	-39	-60	-120	22	-24
Gurjão - PB	-36,48	-7,27	480	326	25,2	477	0	-81	0	14	-9
Itabaiana- PB	-35,33	-7,33	45	579	27,2	694	-4	-122	0	21	-13
Jacaraú- PB	-35,28	-6,67	140	664	26,4	582	-24	-166	0	27	-16
Jericó- PB	-37,82	-6,55	215	593	28,1	929	-16	-148	0	22	-13
Juazeirinho- PB	-36,58	-7,07	570	365	24,6	397	-6	-91	0	16	-10
Nova Olinda- PB	-38,05	-7,47	315	836	27,6	773	-26	26	-235	16	-25
Olho d'água- PB	-37,77	-7,22	275	1034	27,7	799	-20	89	-347	15	-32
Olivedos- PB	-36,25	-6,98	545	363	24,5	411	-2	-91	0	17	-10
Pedra lavrada- PB	-36,47	-6,75	525	343	24,8	414	-5	-86	0	15	-9
Picuí- PB	-36,37	-6,52	450	303	25,2	482	-1	-76	0	13	-8
Prata- PB	-37,10	-7,68	600	517	24,7	436	-30	-121	-8	23	-14
Pincesa Isabel- PB	-38,02	-7,73	660	698	24,8	421	-41	329	-73	24	-21
São João do Tigre- PB	-36,87	-8,07	616	413	24,4	382	-14	-103	0	19	-11
São José de Lagoa Tapada- PB	-38,17	-6,93	260	794	28,0	864	-31	-65	-133	20	-20
São José de Piranhas- PB	-38,50	-7,12	300	821	27,9	838	-31	-11	-195	18	-23
São José dos Cordeiros- PB	-36,82	-7,38	610	375	24,5	412	-12	-94	0	17	-10
Sapé- PB	-35,23	-7,10	125	846	26,5	592	-37	-122	-68	28	-22
Santa Luzia- PB	-36,93	-6,87	290	464	27,0	709	-16	-116	0	18	-11
Santa Terezinha- PB	-37,45	-7,08	380	645	26,7	630	-27	-5	-156	14	-20
Umbuzeiro- PB	-35,67	-7,70	553	618	23,8	339	-34	-119	-35	25	-18
Afonso Bezerra - RN	-36,5	-5,5	80	466	27,8	853	-2	-117	0	17	-10
Água Nova- RN	-38,28	-6,2	270	627	27,9	871	-26	-157	0	23	-14
Alto Rodrigues- RN	-36,76	-5,29	13	476	28,5	991	0	-119	0	17	-10
Apodi- RN	-37,8	-5,67	70	571	29,0	1132	-8	-143	0	19	-12
Areia branca- RN	-37,13	-4,95	5	538	28,6	1034	-12	-135	0	19	-11
Baraunas- RN	-37,67	-5,22	105	638	28,4	981	-23	-159	0	23	-14

Tabela 11 - Continuação

Canguaretama- RN	<b>-35,11</b>	<b>-6,38</b>	<b>48</b>	1111	26,8	636	-36	95	-350	18	-35
Cerro corá- RN	<b>-36,35</b>	<b>-6,05</b>	<b>590</b>	518	24,1	376	-32	-58	-72	17	-17
Florânea- RN	<b>-36,82</b>	<b>-6,1</b>	<b>210</b>	511	27,4	767	-13	-128	0	20	-12
João camara- RN	<b>-35,82</b>	<b>-5,53</b>	<b>140</b>	574	26,7	662	-2	-121	0	22	-13
Lages- RN	<b>-36,25</b>	<b>-5,7</b>	<b>198</b>	468	26,8	674	-3	-117	0	19	-11
Macau- RN	<b>-36,63</b>	<b>-5,12</b>	<b>2</b>	453	28,3	962	-1	-113	0	16	-10
Mossoró- RN	<b>-37,35</b>	<b>-5,2</b>	<b>15</b>	621	28,9	1097	-15	-155	0	21	-13
Ouro branco- RN	<b>-36,95</b>	<b>-6,7</b>	<b>195</b>	496	27,7	789	-11	-124	0	18	-11
Parazinho- RN	<b>-35,84</b>	<b>-5,22</b>	<b>71</b>	530	26,7	658	-4	-133	0	22	-13
Parelhas- RN	<b>-36,66</b>	<b>-6,69</b>	<b>266</b>	486	26,5	638	-20	-83	-39	17	-13
Pureza- RN	<b>-35,53</b>	<b>-5,53</b>	<b>60</b>	775	27,0	703	-39	-125	-69	26	-20
Santa cruz- RN	<b>-36,02</b>	<b>-6,23</b>	<b>240</b>	427	26,4	585	0	-107	0	17	-10
Santo Antonio- RN	<b>-35,47</b>	<b>-6,3</b>	<b>95</b>	688	26,9	649	-25	-156	-16	26	-17
São Bento do Norte- RN	<b>-36,03</b>	<b>-5,07</b>	<b>3</b>	493	27,7	781	-4	-123	0	18	-11
São Fernando- RN	<b>-37,18</b>	<b>-6,38</b>	<b>135</b>	533	28,3	957	-13	-133	0	19	-11
São Gonçalo do Amarante- RN	<b>-35,33</b>	<b>-5,78</b>	<b>20</b>	1110	27,1	680	-39	39	-316	21	-34
São João do sabugi- RN	<b>-37,2</b>	<b>-6,72</b>	<b>175</b>	576	28,0	861	-23	-130	-14	20	-13
São José de Mipibu- RN	<b>-35,23</b>	<b>-6,07</b>	<b>50</b>	1099	26,9	643	-41	60	-312	20	-34
São Miguel- RN	<b>-38,5</b>	<b>-6,22</b>	<b>305</b>	620	27,7	840	-26	-155	0	23	-14
São Paulo de Potengi- RN	<b>-35,77</b>	<b>-5,9</b>	<b>97</b>	476	27,1	681	0	-119	0	18	-11
São Rafael- RN	<b>-36,92</b>	<b>-5,8</b>	<b>70</b>	544	28,4	984	-9	-136	0	19	-12
Serra Negra do Norte- RN	<b>-37,4</b>	<b>-6,67</b>	<b>160</b>	646	28,3	959	-25	-118	-43	21	-15
Tabuleiro Grande- RN	<b>-38,07</b>	<b>-5,93</b>	<b>180</b>	647	28,4	984	-27	-125	-37	21	-15
Touros- RN	<b>-35,47</b>	<b>-5,2</b>	<b>4</b>	983	27,1	733	-43	10	-256	21	-30
Umarizal- RN	<b>-37,82</b>	<b>-5,98</b>	<b>210</b>	669	28,0	898	-29	-167	0	25	-15
Upanema- RN	<b>-37,27</b>	<b>-5,63</b>	<b>45</b>	571	28,8	1077	-4	-143	0	20	-12