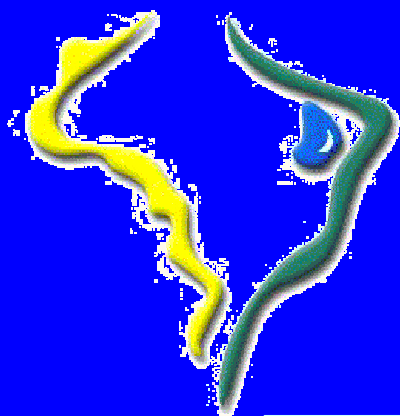


**GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA**  
**Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos**  
**Hídricos e Minerais – SEMARH**  
**Unidade Estadual de Gerenciamento do Proágua**



# **PROÁGUA**

---

## **SEMI-ÁRIDO**

# **PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA**

**Relatório Final de Diagnóstico**

**TOMO I**

***Apoio:***

**BANCO MUNDIAL**



**Riverside Technology, inc.**

**SRH/MMA**

**Julho/2001**



---

---

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório Final de Diagnóstico do Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Paraíba (PDRHP), elaborado pelo Consórcio TC/BR Riverside Technology Inc., através do contrato assinado com a SEMARH.

O produto deste relatório, elaborado a partir de um amplo processo de coleta e tratamento de informações hidrológicas, demográficas e sócio - econômicas, encontra-se encadernado em três tomos, o primeiro tomo, constitui-se em um volume único e apresenta 6 capítulos, sendo os anexos apresentados em CD-ROM, o segundo tomo está dividido em três volumes, onde o primeiro volume apresenta 4 capítulos, o segundo volume apresenta um capítulo e o terceiro volume apresenta 3 capítulos, sendo, também, os anexos apresentados em CD-ROM e, finalmente, o terceiro tomo constitui-se em um volume único dividido em 5 capítulos, acompanhado de um CD-ROM onde são disponibilizados os programas utilizados neste tomo.

No primeiro tomo, o capítulo 1 apresenta a metodologia integradora que norteará os estudos do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba.

A análise da disponibilidade de dados hidrológicos é o objeto do Capítulo 2, detalhando aspectos relativos às informações pluviométricas, fluviométricas e climatológicas, apresentando também a padronização dos formatos utilizados para os dados hidrológicos.

No Capítulo 3 apresenta-se o tratamento de consistência dos dados pluviométricos em níveis anuais e mensais.

As informações fluviométricas são por sua vez tratadas no Capítulo 4, demonstrando-se aí a escassez e dificuldade no tratamento destes dados.

O fenômeno da ocorrência de secas é abordado no Capítulo 5 através de metodologia específica, fornecendo índices que permitem avaliar a intensidade das secas e a vulnerabilidade da região em estudo em relação às mesmas.

Por fim, os temas de interesse do Capítulo 6 são o tempo e o clima no Nordeste do Brasil, sendo examinados os fenômenos climáticos que incidem sobre todo o nordeste e, particularmente, na bacia em estudo.

Os Anexos apresentam detalhadamente as informações básicas e os resultados obtidos, por demais extensos para constar no corpo principal do relatório, havendo sido editados em forma de CD-ROM, facilitando sua consulta e utilização.

---

---

## SUMÁRIO

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>TABELAS .....</b>	<b>8</b>
<b>MAPAS.....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1 – METODOLOGIA INTEGRADORA .....</b>	<b>8</b>
1.1 – O CONTEXTO ESPACIAL E SETORIAL DE FORMULAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS.....	8
1.1.1 – A RELAÇÃO ENTRE A SEMARH E O PDRH.....	8
1.1.2 – A RELAÇÃO ENTRE AS DEMAIS ESFERAS DO GOVERNO ESTADUAL E O PDRH .....	8
1.2 – A FORMULAÇÃO CONCEPTUAL DO PDRH .....	8
1.3 – O CONCEITO DE METODOLOGIA INTEGRADORA .....	8
<b>2 – DISPONIBILIDADE DE DADOS .....</b>	<b>8</b>
2.1 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	8
2.2 – DADOS FLUVIOMÉTRICOS.....	8
2.3 – OUTRAS INFORMAÇÕES CLIMATOLÓGICAS .....	8
2.4 – PADRONIZAÇÃO DE FORMATOS DE DADOS HIDROLÓGICOS .....	8
<b>3 - ESTUDO PLUVIOMÉTRICO REGIONAL .....</b>	<b>8</b>
3.1 - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NO ESTUDO.....	8
3.2 – ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA .....	8
3.2.1 - METODOLOGIA EMPREGADA NA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA .....	8
3.2.2 – TRATAMENTO A NÍVEL ANUAL .....	8
3.2.2.1 - Critérios de Correção.....	8
3.2.2.2 – Preenchimento de Falhas.....	8
3.2.3 – TRATAMENTO A NÍVEL MENSAL .....	8
3.2.3.1 – Critérios de Correção .....	8
3.2.3.2 – Preenchimento de Falhas.....	8
3.2.4 – TRATAMENTO A NÍVEL DIÁRIO .....	8
3.2.4.1 – Compatibilização com a Série Mensal.....	8
3.2.4.2 – Preenchimento das Falhas .....	8
3.2.5 – RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	8
<b>4 – ESTUDO FLUVIOMÉTRICO BÁSICO.....</b>	<b>8</b>

## **5 - ESTUDO DE OCORRÊNCIA DE SECAS ..... 8**

### **5.1 - DESENVOLVIMENTO DE PARÂMETROS INDICADORES DE SECA..... 8**

### **5.2 - CÁLCULO DE INDICADORES DE SECA ..... 8**

### **5.3 - MUSAG ..... 8**

### **5.4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ..... 8**

## **6 – TEMPO E CLIMA NO NORDESTE: O REGIME DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO..... 8**

### **6.1 - INTRODUÇÃO..... 8**

### **6.2 - VARIABILIDADE CLIMÁTICA: O CASO DO NORDESTE DO BRASIL (NEB)..... 8**

#### **6.2.1 – FONTES DE VARIABILIDADE DA ATMOSFERA ..... 8**

#### **6.2.2 – PRINCIPAIS SISTEMAS METEOROLÓGICOS QUE ATUAM NO NEB ..... 8**

##### **6.2.2.1 - ZCIT ..... 8**

##### **6.2.2.2 – Frentes Frias..... 8**

##### **6.2.2.3 - Perturbações de Leste e Ondas de Leste..... 8**

##### **6.2.2.4 - Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS)..... 8**

##### **6.2.2.5 - Brisas..... 8**

##### **6.2.2.6 – Oscilação de 30-60 dias ..... 8**

##### **6.2.2.7 – Fenômenos “El Niño” e Dipolo do Atlântico..... 8**

##### **6.2.2.8 - Sobre as previsões do tempo..... 8**

### **6.3 – MÉTODOS DE PREVISÃO CLIMÁTICA..... 8**

#### **6.3.1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS ..... 8**

#### **6.3.2 - MÉTODOS DINÂMICO-ESTATÍSTICOS..... 8**

#### **6.3.3 - MÉTODOS NUMÉRICOS OU DINÂMICOS..... 8**

### **6.4 - ANOS SECOS E CHUVOSOS NO NEB..... 8**

#### **6.4.1 - CLASSIFICAÇÃO DE ANOS SECOS, NORMAIS E CHUVOSOS ..... 8**

#### **6.4.2 – ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO NO NEB ..... 8**

#### **6.4.3 - COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO NO NEB ..... 8**

### **6.5 - OS FENÔMENOS EL NIÑO OSCILAÇÃO DO SUL (ENOS) E DIPLO DO ATLÂNTICO 8**

#### **6.5.1 - O FENÔMENO ENOS E SEU IMPACTO MUNDIAL ..... 8**

#### **6.5.2 - O FENÔMENO DIPLO DO ATLÂNTICO E O SEU IMPACTO ..... 8**

### **6.6 - CORRELAÇÕES ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO N-NEB E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM)..... 8**

#### **6.6.1 - DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES OCEÂNICAS COM CORRELAÇÕES SIGNIFICATIVAS COM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÃO NO N-NEB ..... 8**

#### **6.6.2 - CORRELAÇÕES DEFASADAS NO TEMPO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO N-NEB E AS TSMs NO PACÍFICO E NO ATLÂNTICO..... 8**

#### **6.6.3 - IMPACTO CONJUNTO DOS FENÔMENOS ENOS E DIPLO DO ATLÂNTICO NO NEB..... 8**

### **6.7 – RESULTADOS E CONCLUSÕES ..... 8**



## FIGURAS

Figura 2.1 - Evolução Histórica do Número de Postos Pluviométricos no Estado da Paraíba

Figura 2.2 – Distribuição das Temperaturas Médias Mensais nas estações de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990)

Figura 2.3 – Distribuição Mensal da Umidade Relativa do Ar nas estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990)

Figura 2.4 – Distribuição do número médio mensal de horas de insolação nas estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990).

Figura 3.1 – Desvios de curva dupla acumulativa com o vetor regional – Posto Bodocongó (3858006)

Figura 6.1 – Localização da Região Nordeste do Brasil (NEB) na América do Sul

Figura 6.2 – Precipitação total anual média (102 mm) sobre o NEB (segundo Kousky e Chu, 1978). Dentro da linha de 800 mm está o chamado “Polígono das Secas”)

Figura 6.3 – Variabilidade relativa da precipitação sobre o NEB (intervalos de análise de 10%). (Segundo Kousky, 1979)

Figura 6.4 – Fontes de variabilidade da atmosfera

Figura 6.5 – Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I – ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste

Figura 6.6 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa do posicionamento da ZCIT, em 15/03/94 às 15:00 h

Figura 6.7 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa do posicionamento de uma frente fria, em 21/11/95 às 09:30 h

Figura 6.8 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa da aproximação de uma onda de leste no NEB, em 02/06/94 às 03:00 h

Figura 6.9 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, de um Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS), em 04/01/96 às 21:00 h

Figura 6.10 – Anomalias da precipitação observada no norte do Nordeste do Brasil (n-NEB) (média de 67 estações) de 1914 a 1989 (média dos meses de fevereiro, março, abril e maio, em mm/mês), com a média móvel de cinco anos

Figura 6.11 – Composição dos desvios médios da precipitação (mm) nos meses de fevereiro a maio dos anos secos. A composição foi calculada tomando-se a média dos desvios absolutos dos meses de fevereiro, março, abril e maio dos anos secos (14, 15, 19, 28, 30, 1931, 32, 36, 39, 41, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 70, 72, 79, 80, 81, 82 e 83). A série de precipitação abrange o período de 1914 a 1989

Figura 6.12 – Composição dos desvios médios da precipitação (mm) nos meses de fevereiro a maio dos anos chuvosos. A composição foi calculada tomando-se a média dos desvios absolutos dos meses de fevereiro, março, abril e maio dos anos considerados chuvosos (1921, 24, 26, 29, 34, 35, 40, 45, 47, 60, 64, 67, 73, 74, 75, 84, 85, 86 e 88). A série de precipitação abrange o período de 1914 a 1989

Figura 6.13 – Esquema de Interação Oceano-atmosfera no Oceano Pacífico, durante um evento ENOS

Figura 6.14 – Esquema da Atmosfera sem e com El Niño

Figura 6.15 – Regiões de secas na África Ocidental e na América do Sul (acima, com a cor verde representando chuvas em excesso, e a vermelha as secas), relacionadas com o Dipolo do Atlântico (abaixo), quando o Atlântico Norte está quente (vermelho) e o Atlântico Sul está frio (azul)

Figura 6.16 – Regiões de melhores correlações da SST com as chuvas no n-NEB

Figura 6.17 – Índice para inferir a precipitação total, no período de Fevereiro a Maio (mm/mês), no n-NEB, a partir das anomalias de TSM das regiões mostradas na figura 16 (Aragão et alli, 1996): a) isoietas de anomalias (observação); b) isoietas de anomalias (Modelo do LMD); c) intervalos das anomalias em cores (observação); d) intervalos das anomalias em cores (modelo do LMD)

Figura 6.18 - Correlações defasadas no tempo entre as anomalias de precipitação no n-NEB, durante a estação chuvosa de Fevereiro a Maio, e as anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico com dados observados e modelados (modelo do LMD), respectivamente (Harzallah et alli, 1996; Aragão, 1996)

Figura 6.19 – Esquemas das circulações de Hadley e Walker anômalas durante as fases dos fenômenos ENOS/LNOS e Dipolo do Atlântico

Figura 6.20 - Resultado do modelo do CPTEC para o trimestre fevereiro - abril de 1998 (a) e para o trimestre de março a maio de 1988 (b), com TSM persistida de novembro de 1997, após a composição de 26 experimentos com condições iniciais diferentes

## **TABELAS**

Tabela 2.1 – Postos pluviométricos do Estado da Paraíba

Tabela 2.2 – Postos fluviométricos do Estado da Paraíba

Tabela 2.3 - Evaporação média nas estações meteorológicas no estado da Paraíba

Tabela 2.4 - Estrutura Interna dos Registros dos Arquivos de Acesso Direto de Chuva

Tabela 2.5 - Estrutura Interna dos Registros dos Arquivos Sequenciais de Chuva

Tabela 2.6 - Estrutura Interna dos Arquivos de Dados Médios Mensais de Vazões

Tabela 2.7 - Estrutura Interna dos Arquivos de Vazões Médias Diárias

Tabela 3.1 - Estudo comparativo das séries fornecidas pela SUDENE e pelo LMRS-PB

Tabela 3.2 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Piancó pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1996)

Tabela 3.3 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Depressão de Patos pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1996)

Tabela 3.4 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Vale do Paraíba pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1996)

Tabela 4.1 - Postos Fluviométricos existentes nas áreas de interesse

Tabela 4.2 - Postos Fluviométricos Analisados

Tabela 4.3 - Disponibilidade de Dados dos Postos Fluviométricos Selecionados

Tabela 6.1 – Anos Classificados Segundo as Anomalias na Precipitação Total Observada de Fevereiro a Maio no Norte Semi-Árido do Nordeste do Brasil (N-NEB) (Média de Área de 67 Estações), com Indicação dos Anos Muito Secos, Secos, Normais, Chuvosos e Muito Chuvosos, e os Anos de Mínimos Valores de Precipitação, para a Série Agrupada em Períodos de 13 Anos

Tabela 6.2 – Anos classificados segundo as anomalias na precipitação total observada de fevereiro a maio no norte semi-árido do Nordeste do Brasil (n-NEB) (média de área de 67 estações), com indicação dos anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos, os anos de mínimos valores na precipitação com a série agrupada para períodos de 13 anos, os episódios de El Niño e os anos secos com relação a esses episódios (0 = seco, no mesmo ano do início do episódio; +1 = seco, no ano seguinte ao início do episódio; +2 = seco, dois anos após o início do episódio)

## **MAPAS**

Mapa 2.1 - Evaporação média anual

Mapa 3.1 - Postos pluviométricos da Paraíba

Mapa 3.2 - Isoietas na bacia do Rio Paraíba

Mapa 3.3 - C.V.s na Bacia do Rio Paraíba

Mapa 4.1 - Postos fluviométricos estudados

Mapa 5.1 - Isolinhas de coeficiente de escoamento médio obtido com o MUSAG

Mapa 5.2 - Data de plantio para cultura com ciclo de 60 dias

Mapa 5.3 - Data de plantio para cultura com ciclo de 90 dias

Mapa 5.4 - Déficits médios para culturas com ciclo vegetativo de 60 dias

Mapa 5.5 - Déficits médios para culturas com ciclo vegetativo de 90 dias

Mapa 5.6 - Frequência de déficits médios de 30% ciclo de 60 dias

Mapa 5.7 - Frequência de déficits médios de 30% ciclo de 60 dias

## INTRODUÇÃO

---

---

## INTRODUÇÃO

O gerenciamento adequado dos recursos hídricos de uma região requer um conhecimento quantitativo e qualitativo confiável dos mesmos, sendo a fase de diagnóstico uma etapa bastante importante para conferir confiabilidade a um Plano Diretor de Recursos Hídricos.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica do Rio Paraíba por corresponder, aproximadamente, a uma terça parte da área total do estado da Paraíba, representa uma unidade de estudo de suma importância para a implementação de medidas de aumento da oferta de água no estado. Sendo assim, o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba constitui-se em um instrumento que permite desenvolver metodologias de controle e gerenciamento dos recursos hídricos no Estado.

A bacia do Rio Paraíba está localizada na porção sudeste do Estado da Paraíba, fazendo fronteiras ao Oeste com o Estado de Pernambuco, ao Sul com o Estado de Pernambuco e a bacia do Rio Gramame, a Leste com o Oceano Atlântico e ao Norte com as bacias do Espinharas, Seridó, Jacu, Curimataú, Mamanguape e Miriri. Localiza-se entre as latitudes 6° 51' 15" e 8° 17' 57" Sul e entre as longitudes 34° 48' 05" e 37° 21' 08" Oeste. Compreende as sub-bacias do Baixo, Médio e Alto Paraíba e do Rio Taperoá.

A área da bacia do Rio Paraíba, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:100.000, é de 19.545 km<sup>2</sup>. O seu perímetro é de 966 km e o comprimento do rio principal é de 412 km.

As cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:100.000, que englobam a bacia do Rio Paraíba são as seguintes:

- Jardim Seridó – Folha SB.24 – Z – B – V (MI – 1131)
- Picuí – Folha SB.24 – Z – B – VI (MI – 1132)
- Guarabira – Folha SB.25 – Y – A – V (MI – 1134)
- Cabedelo – Folha SB.25 – Y – A – VI (MI – 1135)

- Patos – Folha SB.24 – Z – D – I (MI – 1209)
- Juazeirinho – Folha SB.24 – Z – D – II (MI – 1210)
- Boqueirão – Folha SB.24 – Z – D – III (MI – 1211)
- Campina Grande – Folha SB.25 – Y – C – I (MI – 1212)
- Sapé – Folha SB.25 – Y – C – II (MI – 1213)
- João Pessoa – Folha SB.25 – Y – C – III (MI – 1214)
- Monteiro – Folha SB.24 – Z – D – IV (MI – 1288)
- Sumé – Folha SB.24 – Z – D – V (MI – 1289)
- Santa Cruz do Capibaribe – Folha SB.24 – Z – D – VI (MI – 1290)
- Surubim – Folha SB.25 – Y – C – IV (MI – 1291)
- Sertânia – Folha SB.24 – X – B – I (MI – 1367)
- Pesqueira – Folha SB.24 – X – B – II (MI – 1368)

O Rio Paraíba apresenta suas nascentes na Serra Capitão Mor no município de São Sebastião do Umbuzeiro, desaguando finalmente no mar, no município de Cabedelo. Recebe significativas contribuições durante todo o seu percurso, dentre elas destacam-se: Rio do Meio, Rio Sucuru, Rio Taperoá, Riacho da Barra, Riacho Santo Antônio, Rio Paraibinha, Rio Ingá e Rio Gurinhém.

Os 5 principais açudes públicos da bacia do rio Paraíba são: Eptácio Pessoa, Sumé, Pelo Sinal, Poções e Camalaú. Destes, o menor é o açude Pelo Sinal, com capacidade de acumulação de  $20.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  e área da bacia hidráulica atingindo 2.296 ha, e o maior, o Eptácio Pessoa, com  $535,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  e bacia hidráulica englobando uma área de 2.680 ha. A área total inundada pelos 5 reservatórios é de 7.334 ha e o volume acumulado monta em  $677,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  (FONTE: DNOCS)



# Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba



## **CAPÍTULO 1 – METODOLOGIA INTEGRADORA**

---

---

## **1 – METODOLOGIA INTEGRADORA**

### **1.1 – O CONTEXTO ESPACIAL E SETORIAL DE FORMULAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS**

Os Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRH's) se inscrevem no contexto do planejamento estatal como peças que extrapolam, em grande medida, tanto o contexto setorial dos recursos hídricos como o contexto espacial definido previamente para os PDRH's, permeando a imensa maioria das áreas de atuação dos governos estaduais e influenciando em regiões localizadas além das fronteiras da bacia em estudo.

Isto é particularmente relevante na Paraíba e outros estados do Nordeste, dado que o suprimento seguro e de boa qualidade de água para os mais diversos usos constitui, historicamente, uma das principais restrições ao desenvolvimento da região.

A delimitação espacial de abrangência dos PDRH's, associados a uma determinada bacia hidrográfica deve ser compreendida desde uma perspectiva sistêmica, na medida que é fato comprovado que ações no setor hídrico sofrem e geram conseqüências em toda a bacia hidrográfica.

Não obstante, a delimitação espacial não deve ser vista como uma barreira além da qual não mais interessa estudar, avaliar ou planejar e sim como uma delimitação da área de interesse em cerne.

Esta questão, aparentemente trivial, é uma das principais limitações na hora de formular e elaborar um PDRH. O fato de ter como objetivo a elaboração de um PDRH para a bacia do rio Paraíba não pode limitar, por exemplo, a pesquisa de dados pluviométricos e fluviométricos aos estritos limites da bacia; a experiência mostra que informações relevantes são susceptíveis de serem obtidas em bacias vizinhas, e, freqüentemente, observações e dados provenientes de bacias contíguas contribuem sensivelmente ao desenvolvimento de um PDRH.

Além do mais, dado o estado atual de desenvolvimento da infra-estrutura hídrica da região, resulta inevitável contemplar interligações entre bacias ou sub-bacias hidrográficas, conhecidas como transposições de águas.

Por outro lado, como foi salientado acima, se as limitações espaciais devem ser deixadas de lado, muito mais importante é não sofrer limitações de caráter setorial na formulação e elaboração do PDRH.

A formulação e elaboração de um PDRH influenciam o futuro desenvolvimento da imensa maioria das atividades produtivas que se localizam na região de abrangência do Plano e deve estar em clara consonância com uma ampla gama de políticas públicas em andamento ou futuras.

O primeiro passo para a formulação de uma metodologia integradora a ser utilizada em um estudo com as características de um PDRH consiste em definir a relação entre os resultados do plano e o planejamento da SEMARH, em primeiro lugar, e do governo estadual, como um todo, em segundo plano.

Quanto a SEMARH, interessa particularmente a relação que existira entre esta peça de planejamento e os programas e projetos específicos em andamento ou futuros.

Quanto aos demais setores governamentais interessa, principalmente, se existira aproveitamento adequado das medidas recomendadas pelo PDRH, sejam elas de natureza estrutural ou não estrutural.

#### **1.1.1 – A RELAÇÃO ENTRE A SEMARH E O PDRH**

A infra-estrutura hídrica no estado da Paraíba se encontra em plena expansão. O estado se encontra atualmente fazendo importantes esforços para ampliar sua oferta hídrica, basicamente, mediante a construção de reservatórios de porte médio, destinados a satisfazer as demandas hídricas de uma longa lista de núcleos urbanos que sofrem de forma crônica a falta de segurança no suprimento hídrico e, por outro lado, inicia um ambicioso plano de adutoras tendentes a aproveitar mais eficientemente as atuais disponibilidades hídricas.

Historicamente, na Paraíba, a construção de reservatórios foi uma atribuição do DNOCS e só recentemente o governo estadual tem assumido essa atividade, mesmo que em grande parte a mesma seja financiada com fundos provenientes da União, as

atividades de planejamento, estabelecimento de prioridades e posterior contratação e supervisão das obras, se encontra sob jurisdição estadual.

Isto requer, prontamente, de Planos que subsidiem elementos de análise e avaliação das obras, freqüentemente requeridos pelos órgãos financiadores. Assim a primeira função de um PDRH é a de fornecer subsídios técnicos que fortaleçam os argumentos do estado perante os órgãos de financiamento e, em consequência, contribuam diretamente para o desenvolvimento da infra-estrutura hídrica do estado.

Por outro lado, o PDRH deve fornecer a SEMARH uma série de ferramentas e informações que permitam avançar no processo de planejamento dos recursos hídricos locais.

A análise integrada espacialmente no contexto da bacia hidrográfica da infra-estrutura hídrica atual, acrescida das obras já projetadas ou em construção, permitira evidenciar os déficits hídricos ainda remanescentes e as regiões com potencial hídrico ainda explorável, permitindo identificar novas obras de infra-estrutura hídrica.

O fato de fazer isto com uma metodologia homogênea para uma extensa região permite que, além de ser identificadas, as obras sejam devidamente priorizadas umas em relação às outras, sendo possível elaborar assim um plano consistente de expansão da infra-estrutura hídrica.

Outra grande contribuição do PDRH consiste no aproveitamento das informações geradas pelo mesmo na gestão hídrica. O conhecimento preciso das ofertas hídricas e da garantia associada, o cadastro das demandas e o conhecimento da qualidade das águas estocadas nos reservatórios representam importantes recursos para as atividades de concessão de direitos de outorga, a autorização para a construção de obras de infra-estrutura hídrica privadas e, fundamentalmente, a definição de políticas de operação dos reservatórios e práticas de racionamento dos usos em situações críticas. De um modo geral, pode-se afirmar que o PDRH confere segurança e confiabilidade à gestão hídrica.

### **1.1.2 – A RELAÇÃO ENTRE AS DEMAIS ESFERAS DO GOVERNO ESTADUAL E O PDRH**

Vários setores do governo estadual interagem fortemente com o PDRH, setores como saúde, indústria têm como subsídio para seu planejamento setorial informações contidas no PDRH, mas são os setores diretamente usuários e recursos hídricos como saneamento e agricultura irrigada os que se vinculam mais diretamente com o PDRH.

O setor de saneamento se vincula ao PDRH em dois sentidos, numa primeira etapa é um dos principais fornecedores de informações para a elaboração do PDRH, fornecendo demandas de água para abastecimento humano, locais e condições de lançamento de esgotos.

Numa segunda etapa, o setor de saneamento é usuário direto das informações geradas no PDRH, devendo planejar sua expansão de forma concomitante com a expansão da oferta hídrica.

Já o setor de agricultura irrigada, maior consumidor de águas, deverá formular, também, sua exploração e expansão em função das disponibilidades hídricas e, principalmente, em função das políticas de operação dos reservatórios definidas pelo PDRH.

Na medida que exista uma relação estreita entre o planejamento desses setores e a SEMARH, será possível diminuir sensivelmente a ocorrência de conflitos entre usos e usuários e, principalmente, fazer um uso eficiente da infra-estrutura hídrica atual e futura.

## **1.2 – A FORMULAÇÃO CONCEPTUAL DO PDRH**

Para uma formulação adequada do PDRH é importante estabelecer algumas definições:

- objetivos, como a situação ou estágio que se deseja atingir, nesse sentido um PDRH apresenta objetivos de tipo cognitivo. Isto é, estágios de descrição e compreensão dos recursos hídricos e suas inter-relações com meio físico, biótico e antrópico;

- meta denota uma etapa intermediária para se alcançar um dado objetivo, podendo ser também definida como a quantificação do próprio objetivo;
- política é a definição conceptual de como se pretende alcançar os objetivos;
- programa é o conjunto de ações para se realizar as políticas.

Assim o PDRH deverá desenvolver não só os aspectos relativos aos objetivos e suas respectivas metas quanto também definir as políticas para alcançar as mesmas e integrar estas em programas que mantenham uma unidade determinada pelos objetivos que se pretende atingir. É nesse contexto que o que se denomina “metodologia integradora” se insere, entendida a mesma como recurso que vai ser efetivamente utilizado para manter a continuidade e coerência ao longo de todo o PDRH.

### **1.3 – O CONCEITO DE METODOLOGIA INTEGRADORA**

Para se entender melhor o conceito de metodologia integradora é importante ainda lembrar alguns princípios do planejamento:

Em primeiro lugar é importante lembrar que o planejamento não diz respeito a decisões futuras mas às implicações futuras de decisões presentes.

Isto leva, em consequência, a definir o planejamento não como um ato isolado e sim no contexto de um processo composto de ações inter-relacionadas e interdependentes que visam o alcance de objetivos previamente estabelecidos.

Por outro lado, devemos lembrar que o processo de planejamento deve ser o foco. O produto final do processo de planejamento será o plano e este deve ter como objeto uma síntese e sistematização momentânea do processo de planejamento devendo instrumentalizar e rearejar o processo de planejamento contínuo.

Assim, podemos desagregar o processo de planejamento nos seguintes componentes:

- a - planejamento dos fins;

- b - planejamento dos meios;
- c - planejamento organizacional;
- d - planejamento de recursos;
- e - planejamento da implementação e controle.

E mesmo que o presente trabalho não inclua todos os componentes acima listados deve ser desenvolvido de modo a contribuir e interagir com os mesmos.

De algum modo a planejamento dos estudos do PDRH, a própria escolha do espaço de domínio do PDRH constituem parte integrante do que se denomina “Planejamento dos fins”. Por outro lado, a implementação e controle do PPDRH, pela sua natureza contínua e, principalmente pelo seu caráter de atividade de supervisão é reservada, na maioria dos casos ao estado ou à própria SEMARH.

Assim, o PDRH se situa no contexto do planejamento dos meios, das questões organizacionais e, de forma marginal, com a questão dos recursos.

Neste sentido, a questão chave consiste em desenvolver e fornecer ferramentas de atualização e suporte as decisões de médio longo prazo.

É justamente este o mais importante objetivo operacional com que se desenvolve a imensa maioria das atividades deste Plano e onde a questão da metodologia integradora deve ser situada.

Para isto, importantes ferramentas devem ser desenvolvidas e aprimoradas, a primeira diz respeito à disponibilidade de informações associadas com a demanda e à oferta hídrica e consiste, basicamente, em uma série de bancos de dados relacionais, associados a ferramentas de busca e tratamento destas informações. Técnicas de georeferenciamento destas informações e recursos de mapeamento serão integrados de modo a tornar esta ferramenta mais amigável para o usuário.

A Segunda ferramenta diz respeito à capacidade de cotejar ofertas e demandas provenientes de diferentes horizontes de planejamento ou cenários de evolução da oferta e da demanda hídrica. Para tal se encontra prevista uma ferramenta denominada no TDR como MAG 4, acrescida uma série de recursos inovadores capazes de definir a



política de operação de sistemas complexos de reservatórios adutoras e centros de demanda com diferentes níveis de exigência em matéria de garantia de abastecimento. Isto permite, numa primeira etapa planejar e hierarquizar as novas obras de infraestrutura hídrica e, numa segunda etapa, avaliar operacionalmente o desempenho do sistema e formular políticas de operação, critérios de racionamento e avaliação do impacto dos diferentes usos e usuários no sistema de recursos hídricos.

A terceira e não menos importante ferramenta consiste num conjunto de recursos capazes de avaliar, a nível de pré - viabilidade os custos associados com a implantação e manutenção das diferentes ações propostas para a bacia, permitindo definir cronogramas físicos - financeiros da execução de obras e serviços propostos pelo PDRH.

## **CAPÍTULO 2 – DISPONIBILIDADE DE DADOS**

---

---

## **2 – DISPONIBILIDADE DE DADOS**

O contexto espacial das informações hidrológicas que se revestem de interesse para o desenvolvimento do PDRHP compreende as seguintes bacias hidrográficas:

- rio Piranhas – Piancó;
- rio Paraíba (PB);
- rio Mamanguape (PB);
- rio Gramame-Mamuaba (PB);
- outras bacias litorâneas da Paraíba.

A pouca disponibilidade de dados hidrometeorológicos nas referidas bacias representa um importante problema para o planejamento de infra-estrutura hídrica na região. As principais fontes de dados hidrometeorológicos são:

- acervo de dados pluviométricos e evaporimétricos da SUDENE;
- acervo de dados fluviométricos da ANEEL;
- acervo de dados climatológicos do INEMET.

### **2.1 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

O principal acervo de dados pluviométricos é proveniente da rede pluviométrica implantada, inicialmente, em 1912 pelo IFOCS (Instituto de Fiscalização de Obras Contra a Seca), posteriormente denominado DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), e acentuadamente adensada a partir dos anos 60, com as estações implantadas pela SUDENE.

Essa rede de postos pluviométricos passou, nos anos 90, por sucessivas crises; muitos postos foram desativados e um grande número de observadores da rede entrou em litígio com a SUDENE.

Simultaneamente com este processo de sucateamento da rede pluviométrica, vários estados do Nordeste começaram o processo de aparelhamento nos setores de

meteorologia e recursos hídricos, em especial com base em financiamentos provenientes do Ministério de Ciência e Tecnologia.

Este projeto, denominado “Projeto Nordeste”, auxiliou a instalação de vários Centros Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos que foram, gradativamente, ocupando o espaço deixado pela SUDENE nessa área.

Particularmente no estado da Paraíba foi implantado um Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto na cidade de Campina Grande (LMRS-PB) que, inicialmente mediante convênios com a SUDENE e, posteriormente de forma independente se dedicou à tarefa de recuperar e tornar operacional a parcela localizada em território paraibano da antiga rede pluviométrica.

Os prejuízos ocasionados por estes problemas institucionais foram imensos para a disponibilidade de dados pluviométricos no Nordeste setentrional. Durante a década de 90 não só houve uma drástica diminuição do número de postos pluviométricos em operação, como, também, ocorreram indisponibilidades de dados coletados por falta de recursos para sua digitalização e posterior tratamento e consistência.

Por outro lado, importantes volumes de dados históricos em suporte digital foram extraviados ou danificados, sendo habitual, para um importante número de postos pluviométricos, dispor de séries de dados pluviométricos mensais sem se dispor dos respectivos dados originais a nível diário.

Os problemas acima expostos agravaram, ainda mais, as sérias dificuldades que sempre existiram para a obtenção de dados pluviométricos na região.

Para o presente estudo, junto à SUDENE, foram obtidas as séries que se estendiam até, no máximo, o ano de 1990. Após esta data, os dados foram coletados junto ao LMRS de Campina Grande.

A figura 2.1 mostra um diagrama de barras que apresenta o número de postos pluviométricos com dados disponíveis, para cada década. A Tabela 2.1 apresenta a listagem dos postos pluviométricos da SUDENE utilizados nestes estudos e suas respectivas coordenadas geográficas.

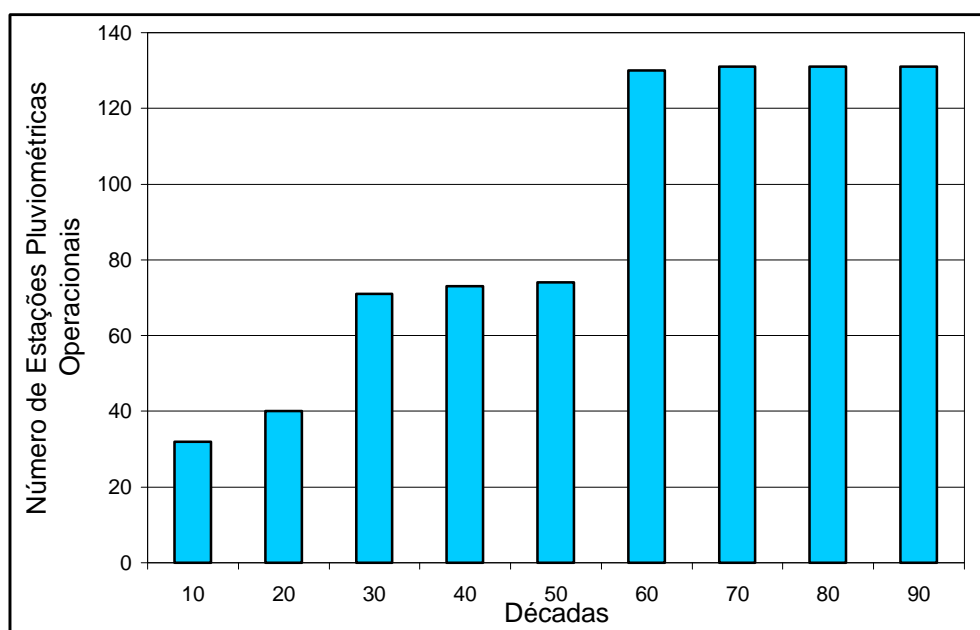


Figura 2.1 - Evolução Histórica do Número de Postos Pluviométricos no Estado da Paraíba

Tabela 2.1 - Postos pluviométricos do estado da Paraíba

Código	Nome do Posto	Município	Latitude		Longitude		Altitude (m)
			G	M	G	M	
3824396	BELEM DO BREJO DO CRUZ	BELEM DO BREJO DO CRUZ	06	11	37	32	190
3824751	CATOLE DO ROCHA	CATOLE DO ROCHA	06	21	37	45	250
3824992	JENIPAPEIRO DOS CARREI OS	CATOLE DO ROCHA	06	28	37	33	190
3825346	S. JOSE DO BREJO DO CRUZ	BREJO DO CRUZ	06	11	37	17	120
3825701	BREJO DO CRUZ	BREJO DO CRUZ	06	21	37	30	190
3827973	CUITE	CUITE	06	29	36	09	620
3832089	BARRA DO JUA	TRIUNFO	06	32	38	34	500
3832398	PILOES AC	ANTENOR NAVARRO	06	40	38	31	255
3832789	CAJAZEIRAS	CAJAZEIRAS	06	53	38	34	291
3832956	BALANCAS	CACHOEIRA DO ÍNDIO	06	59	38	44	400
3833018	UIRAUNA	UIRAUNA	06	31	38	25	300
3833235	S. VICENTE ST	SOUSA	06	37	38	20	420
3833285	S. FRANCISCO	SOUSA	06	37	38	05	150
3833413	ANTENOR NAVARRO	ANTENOR NAVARRO	06	44	38	27	240
3833554	SOUSA	SOUSA	06	45	38	14	200
3833588	APARECIDA	SOUSA	06	46	38	04	170
3833639	S. GONCALO	S. GONCALO	06	50	38	19	
3833835	NAZAREZINHO	NAZAREZINHO	06	55	38	20	265
3833869	S. JOSE DA LAGOA TAPADA	S. JOSE DA LAGOA TAPADA	06	56	38	10	260
3833908	ENGENHEIRO AVIDOS AC	CAJAZEIRAS	06	58	38	28	250
3834137	JERICO	JERICO	06	33	37	49	215
3834389	DESTERRO DE MALTA	DESTERRO DE MALTA	06	41	37	34	195
3834538	POMBAL	POMBAL	06	46	37	49	178
3834877	CONDADO	CONDADO	06	54	37	37	260
3834894	MALTA	MALTA	06	54	37	32	340
3834945	CAJAZEIRINHAS	POMBAL	06	58	37	47	400
3835734	S. JOSE DO ESPINHARAS	S. JOSE DO ESPINHARAS	06	51	37	20	185
3835882	S. MAMEDE	S. MAMEDE	06	55	37	06	270
3836715	STA. LUZIA	STA. LUZIA	06	52	36	56	290
3837028	PICUI	PICUI	06	31	36	22	450
3837488	BARRA DE STA. ROSA	BARRA DE STA. ROSA	06	43	36	04	440
3837507	PEDRA LAVRADA	PEDRA LAVRADA	06	45	36	28	525
3837552	SOSSEGO	CUITE	06	46	36	15	600
3837717	SERIDO	SERIDO	06	51	36	25	530
3837796	ALGODAO	REMIGIO	06	53	36	02	470
3837953	OLIVEDOS	OLIVEDOS	06	59	36	15	545
3838055	ARARUNA	ARARUNA	06	31	35	44	580
3838246	CACIMBA DE DENTRO	CACIMBA DE DENTRO	06	38	35	47	460
3838526	SALGADO	SOLANEA	06	47	35	53	400
3838575	BANANEIRAS	BANANEIRAS	06	46	35	38	552
3838675	SERRARIA	SERRARIA	06	49	35	38	360
3838684	VILA MAIA	BANANEIRAS	06	48	35	35	210
3838962	AREIA	AREIA	06	58	35	42	445
3838966	AREIA II	AREIA	06	59	35	41	
3839208	CAICARA	CAICARA	06	37	35	28	185
3839291	MATARACA	MATARACA	06	36	35	03	35
3839345	JACARAU	JACARAU	06	40	35	17	140
3839679	MAMANGUAPE	MAMANGUAPE	06	50	35	07	54
3839704	GUARABIRA	GUARABIRA	06	51	35	29	89
3839727	ARACAGI	ARACAGI	06	51	35	22	170
3842185	ARAPUA ST	S. JOSE DO ESPINHARAS	07	04	38	35	500
3842698	BONITO DE SANTA FE	BONITO DE SANTA FE	07	19	38	31	575
3843042	TIMBAUBA FZ	AGUIAR	07	01	38	18	520
3843166	AGUIAR	AGUIAR	07	05	38	11	280
3843202	S. JOSE DE PIRANHAS	S. JOSE DE PIRANHAS	07	07	38	30	300
3843537	SERRA GRANDE	SERRA GRANDE	07	15	38	19	585
3843667	ITAPORANGA	ITAPORANGA	07	18	38	10	230
3843727	BOM JESUS	CONCEICAO	07	21	38	22	470
3843857	S. BOAVENTURA	S. BOAVENTURA	07	24	38	13	300
3843919	IBIARA	IBIARA	07	29	38	25	330
3843992	NOVA OLINDA	NOVA OLINDA	07	28	38	03	315
3844008	CUREMAS AC	COREMAS	07	01	37	58	220
3844279	CATINGUEIRA	CATINGUEIRA	07	08	37	37	290
3844313	PIANCO	PIANCO	07	11	37	57	250
3844448	OLHO D AGUA	OLHO D AGUA	07	13	37	46	275
3844703	GARROTES	GARROTES	07	23	38	00	305
3845045	PATOS	PATOS	07	01	37	17	250
3845113	STA. TERESINHA	STA. TERESINHA	07	05	37	27	380
3845236	PORCOS FZ	STA. TERESINHA	07	08	37	20	270
3845289	PASSAGEM	PASSAGEM	07	08	37	04	340
3845448	TEIXEIRA	TEIXEIRA	07	13	37	16	770
3845514	MAE D AGUA DE DENTRO	MAE D AGUA DE DENTRO	07	15	37	26	370

Tabela 2.1 - Postos pluviométricos do estado da Paraíba

Código	Nome do Posto	Município	Latitude		Longitude		Altitude (m)
			G	M	G	M	
3845583	DESTERRO	DESTERRO	07	17	37	06	590
3845703	IMACULADA	IMACULADA	07	23	37	30	750
3846185	JUAZEIRINHO	TAPEROA	07	04	36	35	570
3846231	SALGADINHO	SALGADINHO	07	06	36	51	410
3846434	TAPEROA	TAPEROA	07	12	36	50	500
3846475	STO. ANDRE	GURJAO	07	13	36	38	470
3846739	S. JOSE DOS CORDEIROS	S. JOSE DOS CORDEIROS	07	23	36	49	610
3846894	S. JOAO DO CARIRI	S. JOAO DO CARIRI	07	24	36	32	445
3846969	SERRA BRANCA	SERRA BRANCA	07	29	36	40	450
3847128	SOLEDADE	SOLEDADE	07	04	36	22	560
3847188	POCINHOS	POCINHOS	07	04	36	04	624
3847218	STA. TEREZA FZ	SOLEDADE	07	07	36	25	500
3847505	GURJAO	GURJAO	07	16	36	29	480
3847555	BOA VISTA	CAMPINA GRANDE	07	16	36	14	490
3847698	CATOLE	CAMPINA GRANDE	07	19	36	01	470
3847979	BOQUEIRAO AC	BOQUEIRAO	07	29	36	07	380
3848145	ALAGOA NOVA	ALAGOA NOVA	07	04	35	47	500
3848174	ALAGOA GRANDE	ALAGOA GRANDE	07	03	35	38	180
3848428	CAMPINA GRANDE	CAMPINA GRANDE	07	13	35	52	508
3848431	CAMPINA GRANDE	CAMPINA GRANDE	07	12	35	51	508
3848579	INGA	INGA	07	17	35	37	144
3848741	FAGUNDES	FAGUNDES	07	21	35	48	520
3849006	MULUNGU	MULUNGU	07	02	35	29	100
3849232	ACAU	PILAR	07	07	35	21	146
3849254	SAPE	SAPE	07	06	35	14	125
3849384	CRUZ DO ESPIRITO SANTO	CRUZ DO ESPIRITO SANTO	07	09	35	05	20
3849545	PILAR	PILAR	07	16	35	17	35
3849604	MOGEIRO	MOGEIRO	07	18	35	29	110
3849636	ITABAIANA	ITABAIANA	07	20	35	20	45
3852197	CONCEICAO	CONCEICAO	07	33	38	31	370
3853467	MANAIRA	MANAIRA	07	42	38	10	605
3853499	PRINCESA ISABEL	PRINCESA ISABEL	07	44	38	01	660
3854036	JURU	JURU	07	32	37	50	470
3854072	AGUA BRANCA	AGUA BRANCA	07	31	37	39	710
3855383	PRATA	PRATA	07	41	37	06	600
3855779	MONTEIRO	MONTEIRO	07	53	37	07	590
3856008	BANANEIRAS	SUME	07	31	36	58	700
3856278	COXIXOLA	SERRA BRANCA	07	37	36	37	465
3856314	SUME	SUME	07	39	36	56	510
3856345	SUCURU	SERRA BRANCA	07	40	36	47	410
3856498	CARAUBAS	S. JOAO DO CARIRI	07	43	36	31	460
3856667	CONGO	CONGO	07	48	36	40	500
3856828	CAMALAU	CAMALAU	07	55	36	52	565
3857044	CABACEIRAS	CABACEIRAS	07	30	36	17	390
3857471	RIACHO STO. ANTONIO	BOQUEIRAO	07	42	36	09	455
3857534	BARRA DE S. MIGUEL	BARRA DE S. MIGUEL	07	45	36	20	520
3858006	BODOCONGO	QUEIMADAS	07	32	35	59	350
3858039	LAGOA DOS MARCOS FZ	AROEIRAS	07	32	35	49	430
3858065	AROEIRAS	AROEIRAS	07	31	35	41	340
3858439	MATA VIRGEM	UMBUZEIRO	07	44	35	49	645
3858467	UMBUZEIRO	UMBUZEIRO	07	42	35	40	553
3865397	S. SEBASTIAO DO UMBUZEIRO	S. SEBAST. DO UMBUZEIR	08	09	37	01	600
3866066	STA. MARIA DA PARAIBA	S. JOAO DO TIGRE	08	02	36	41	800
3866128	S. JOAO DO TIGRE	S. JOAO DO TIGRE	08	04	36	52	616
3940206	STA. RITA	STA. RITA	07	08	34	59	16
3940225	JOAO PESSOA	JOAO PESSOA	07	07	34	53	05
3940226	JOAO PESSOA	JOAO PESSOA	07	08	34	53	05
3940522	VILA DO CONDE	VILA DO CONDE	07	16	34	54	100
3940819	ALHANDRA	ALHANDRA	07	26	34	55	49

## 2.2 – DADOS FLUVIOMÉTRICOS

O acervo de dados fluviométricos – que, tradicionalmente foram muito mais escassos – apresenta um panorama semelhante, em grande parte, com o descrito para os dados pluviométricos.

Estes dados são provenientes da rede fluviométrica do extinto DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, atualmente sob a jurisdição da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

Esta rede de coleta de dados fluviométricos foi, sucessivamente, operada pelos escritórios regionais do antigo DNAEE, por equipes do DNOCS, em convênio com o DNAEE durante a década dos anos 70, e, posteriormente, pelos escritórios regionais da CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

A rede, no Nordeste setentrional, é completamente deficitária, principalmente pelo fato que, sendo historicamente o objetivo primordial dessa a coleta de dados fluviométricos para elaboração de inventários de avaliação dos potenciais hidroenergéticos em rios brasileiros, as citadas bacias nunca despertaram grande interesse, face o baixo potencial hidroenergético que apresentam; sendo a imensa maioria constituída por cursos d'água intermitentes, com rendimentos hídricos muitos baixos, se comparados com outras regiões do país.

Estes fatos levaram a um processo contínuo de restrição do número de postos fluviométricos em operação na região e a um baixo nível de aproveitamento dos dados fluviométricos coletados.

Somado a estes problemas operacionais ocorrem outros de ordem técnica. A intermitência dos cursos d'água da região representa uma dificuldade adicional para o estabelecimento de relações funcionais entre alturas limnimétricas e vazões (curvas - chave).

O desenvolvimento de vegetação, muitas vezes arbustiva e arbórea, em seções de rio que, habitualmente, passam muitos meses e até anos sem escoar vazões e, o forte antropismo nas calhas naturais, habitualmente utilizadas para a agricultura de vazantes ou para a extração de material para confecção de tijolos e telhas, altera



contínua e profundamente as seções de medição de vazão, tornando o processo de ajuste de curvas - chave complexo e laborioso.

Os problemas acima expostos têm como consequência uma massa de dados fluviométricos pouco consistentes, com elevada ocorrência de falhas e reduzida possibilidade de aproveitamento. Prova disto é o elevado nível de inconsistências encontrado nos postos fluviométricos analisados, sendo que, a grande maioria dos postos efetivamente aproveitados, foi objeto de uma completa revisão de suas curvas - chave.

Na Tabela 2.2 é apresentada a listagem dos postos fluviométricos utilizados nestes estudos com suas respectivas coordenadas geográficas.

Tabela 2.2 – Postos fluviométricos do Estado da Paraíba

Estação		Curso d'Água	Coordenadas			
Código	Nome		Lat.	Long.		
37200000	São José de Piranhas	Rio Piranhas	07	07	38	29
37214000	Eng. Ávidos (Montante)	Rio Piranhas	06	59	38	27
37215000	Eng. Ávidos (Jusante)	Rio Piranhas	06	59	38	27
37230000	São Gonçalo - Açude	Rio Piranhas	06	50	38	15
37231000	São Gonçalo - Açude Bar. Aux. Jus.	Rio Piranhas	06	50	38	15
37232000	São Gonçalo - Açude canal p1	Rio Piranhas	06	50	38	15
37233000	São Gonçalo - Açude canal p2	Rio Piranhas	06	50	38	15
37234000	São Gonçalo - Açude canal p3	Rio Piranhas	06	50	38	15
37235000	São Gonçalo - Açude canal p4	Rio Piranhas	06	50	38	15
37260000	Antenor Navarro	Rio do Peixe	06	43	38	27
37260001	Antenor Navarro (ex-São João)	Rio do Peixe	06	43	38	27
37261000	Sousa	Rio do Peixe	06	45	38	14
37290000	Aparecida	Rio do Peixe	06	46	38	04
37340000	Piancó	Rio Piancó	07	12	37	56
37350000	Malhada dos Bois (Faz.)	Rio Jenipapo	07	13	37	46
37360000	Emas	Riacho dos Porcos	07	07	37	43
37363000	Aguiar	Riacho Aguiar	07	06	38	10
37366000	Boqueirão Mãe-D'Água (Aç.)	Riacho Aguiar	07	02	37	59
37430000	Patos	Rio Espinharas	07	02	37	17
37440000	Serra Negra do Norte (Faz.)	Rio Espinharas	06	40	37	24
37510000	Boqueirão de Parelhas	Rio Seridó	06	41	36	40
37515000	Sítio Volta	Rio Seridó	06	36	36	47
37516000	Jardim do Seridó	Rio Seridó	06	35	36	46
37520000	Gargalheiras (Aç.)	Rio Acauã	06	25	36	36
37559000	Caicó	Rio Seridó	06	28	37	06
37565000	Soledade	Rio Barra Nova	06	28	37	06
37570000	São Fernando	Rio Seridó	06	22	37	11
38000001	Mumbaba	Riacho Mumbaba	07	12	34	56
38000002	Mamuaba	Rio Mamuaba	07	16	34	59
38750000	Mulungu	Mamanguape	07	01	35	29
38790000	Ponte de Leitão	Mamanguape	06	51	35	09
38810000	Monteiro	Rio Monteiro	07	53	37	07
38850000	Poço de Pedras	Rio Taperoá	07	24	36	26
38855300	Boqueirão de Cabaceiras	Rio Paraíba	07	59	36	08
38880000	Guarita	Rio Paraíba	07	20	35	23
38880001	Guarita (Lauro Miller)	Rio Paraíba	07	20	35	23
38885000	Pilar	Rio Paraíba	07	16	35	17
38895000	Ponte da Batalha	Rio Paraíba	07	08	35	03

### 2.3 – OUTRAS INFORMAÇÕES CLIMATOLÓGICAS

Os dados climatológicos são também escassos no Nordeste setentrional. Atualmente são poucas as estações meteorológicas completas que se encontram em operação, sendo quase sempre associadas a aeroportos e localizadas nas capitais de estado, isto é, no litoral marítimo da região.

Não obstante, em consequência da pequena variabilidade dos meteoros mais importantes, dispõe-se de séries de dados evaporimétricos, de temperaturas, de intensidade e direção dos ventos em alguns locais que permitem, com base em médias climatológicas, inferir os montantes de evaporação nos reservatórios da região e condições médias de vento e temperaturas imperantes em diferentes locais.

Estes dados provêm de duas fontes:

- postos evaporimétricos implantados pela SUDENE nas décadas de 60-70;
- estações climatológicas do INEMET, atualmente desativadas.

Com base nas informações provenientes destas estações, o clima da bacia do Paraíba é caracterizado como do tipo Bsh, na classificação de Köppen, apresentando duas zonas climáticas diferenciadas:

- i. uma zona de clima quente e úmido, típica da costa do Atlântico Leste do Nordeste, com chuvas de outono-inverno (S');
- ii. uma zona de clima quente e seco a oeste, com chuvas de verão - outono (W'). Em alguns setores da bacia essas zonas podem ocorrer superpostas e ainda sofrerem influências do relevo (contrafortes orientais do Planalto da Borborema), dando como resultado grandes variações regionais.

Na bacia o ciclo anual de variação da temperatura média do ar, representada pelos postos de Campina Grande e Monteiro, se apresenta bem caracterizado por um ramo descendente no semestre chuvoso (fevereiro a julho) e um ramo ascendente no período de estiagem (agosto a janeiro). No litoral (João Pessoa), por conta de influências costeiras, não se observa a mesma regularidade do interior (Figura 2.2). As mínimas, porém, ocorrem no mês de julho em toda a bacia.

A umidade relativa média do ar varia de cerca de 60% a 90 % para o conjunto da bacia. Os menores valores (60 a 78%) ocorrem em Monteiro, com máximos em abril e mínimos em outubro; os maiores (72 a 91%) em Campina Grande, com máximo em junho e mínimos em novembro e fevereiro. No litoral (João Pessoa) a faixa de variação anual oscila entre 67 e 87% (Figura 2.3)

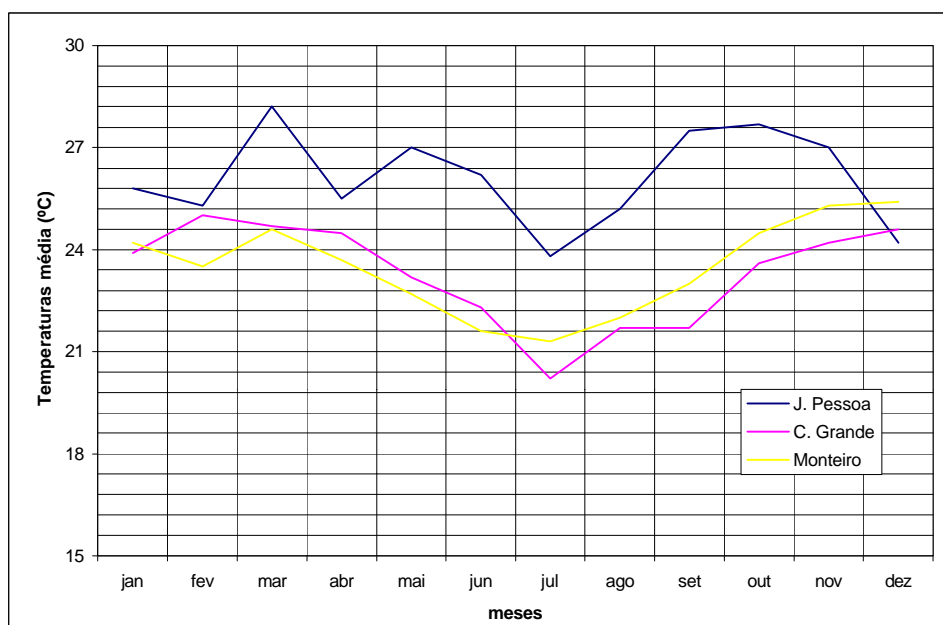


Figura 2.2 – Distribuição das Temperaturas Médias Mensais nas estações de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990)

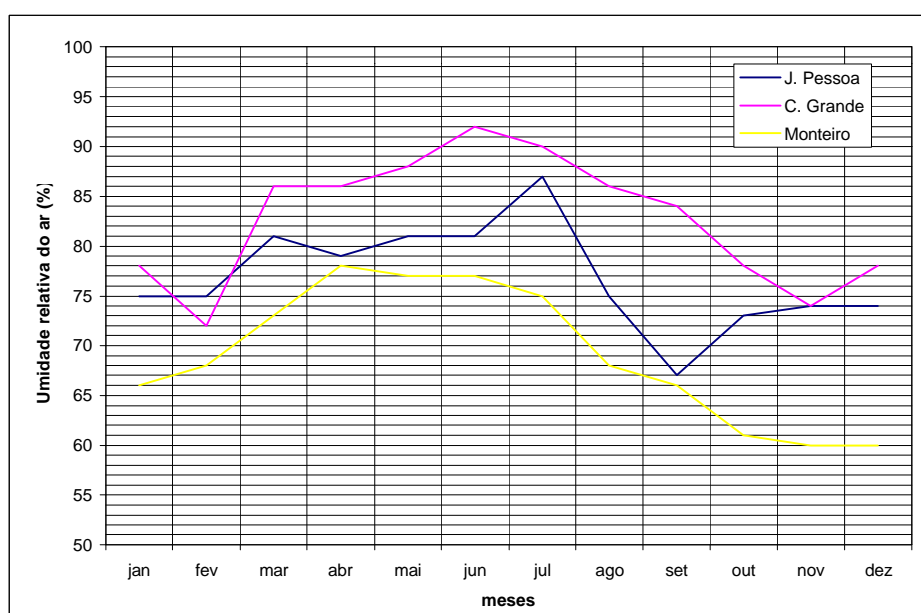


Figura 2.3 – Distribuição Mensal da Umidade Relativa do Ar nas estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990)

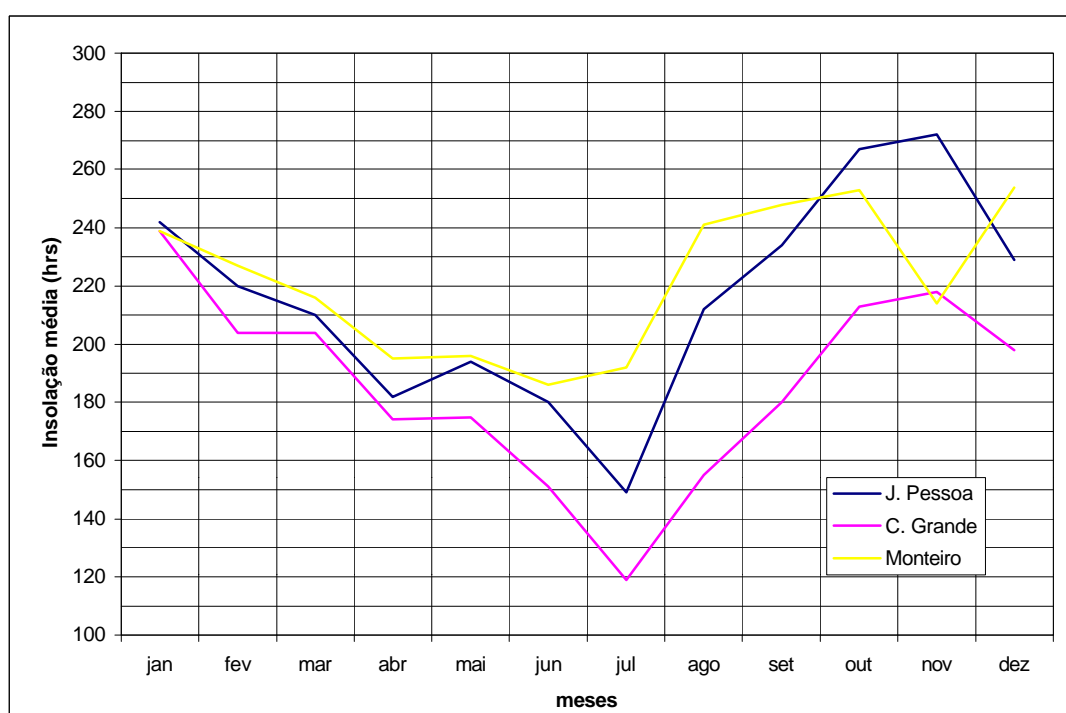


Figura 2.4 – Distribuição do número médio mensal de horas de insolação nas estações meteorológicas de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro, representativas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Normais Climatológicas 1961-1990).

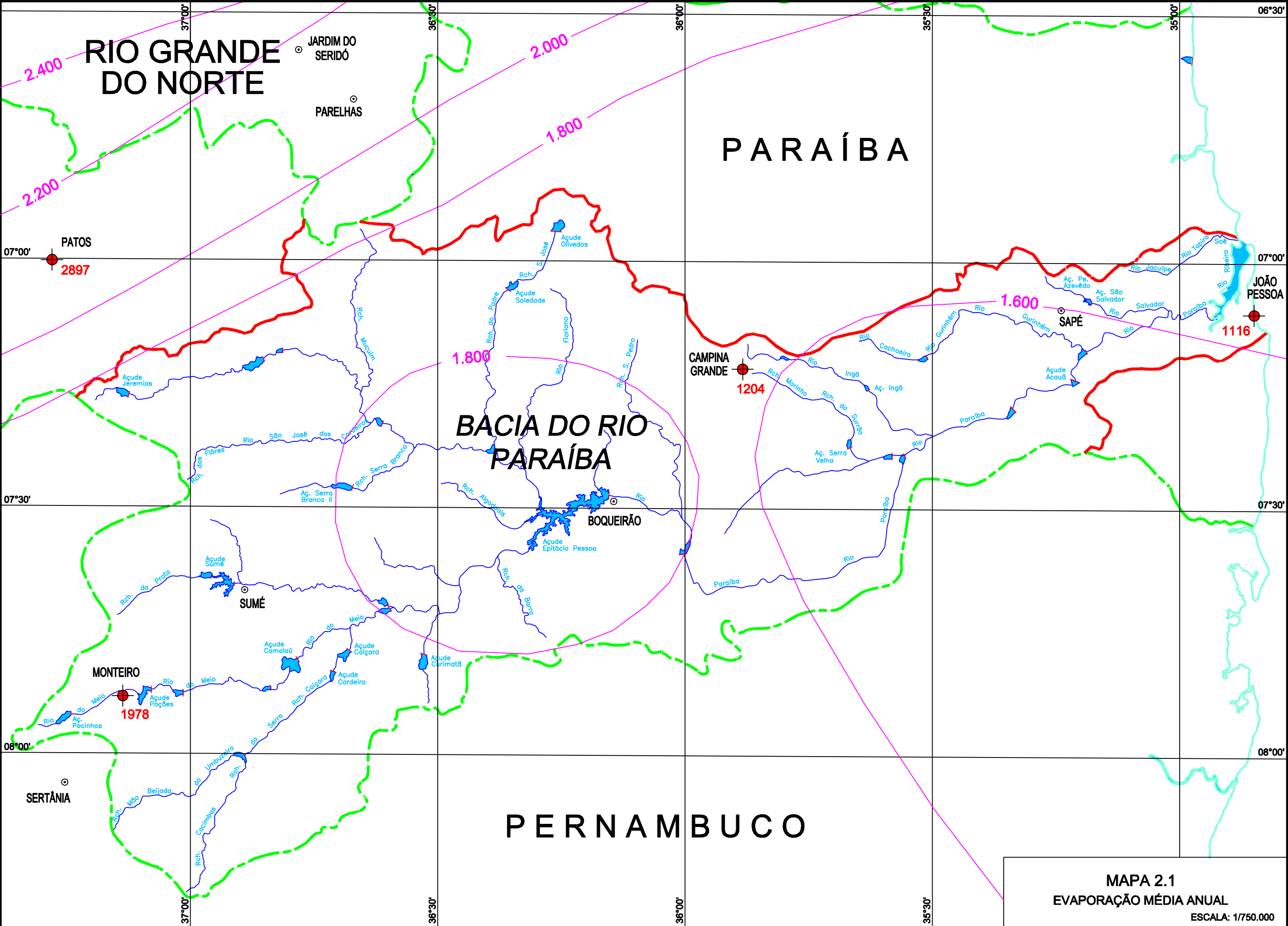
A distribuição do número médio mensal de horas de insolação na bacia do Paraíba, segundo as normais de João Pessoa, Campina Grande e Monteiro é ilustrada na figura 2.4.

Em termos anuais, observa-se uma redução do número médio mensal de horas de insolação durante aproximadamente 9 (nove) meses (novembro - julho) e um aumento no trimestre agosto - outubro.

Na Tabela 2.3 é apresentada a listagem dos postos evaporimétricos e estações climatológicas que dispõem de informações sobre evaporação e suas médias mensais e anuais. O Mapa 2.1 contém as isolinhas de evaporação potencial anual da região estudada.

Tabela 2.3 - Evaporação média nas estações meteorológicas no estado da Paraíba

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
Patos	326	259	241	207	223	225	252	304	322	361	345	338	3,409
Souza	268	203	194	173	178	185	218	267	294	317	314	326	2,945
São Gonçalo	187	131	120	113	142	154	191	227	238	245	244	214	2,205
Campina Grande	147	133	108	88	103	65	73	105	126	154	151	165	1,417
João Pessoa	159	140	118	89	87	95	95	68	152	149	91	70	1,314
Monteiro	233	178	156	116	115	127	156	206	239	263	266	273	2,328



## 2.4 – PADRONIZAÇÃO DE FORMATOS DE DADOS HIDROLÓGICOS

Os dados hidrometeorológicos processados nestes estudos foram objeto de padronização, não só de modo a permitir uma fácil e rápida consulta, como, também, para tornar os mesmos compatíveis com os softwares utilizados.

Para os dados de precipitação foram utilizados dois formatos:

a – arquivos de acesso direto;

b – arquivos seqüenciais.

O formato “a” é do tipo randômico, pode ser acessado de forma direta por softwares específicos; neste caso utilizou-se o padrão randômico da linguagem Visual Basic – Microsoft, amplamente difundida e de fácil manuseio.

A estrutura interna de cada registro deste tipo de arquivos é apresentada na tabela 2.4 a seguir.

Tabela 2.4 - Estrutura Interna dos Registros dos Arquivos de Acesso Direto de Chuva

Nome do Campo	Descrição da informação contida no campo	Extensão do campo
Campo 1	Ano do dado de chuva	4 caracteres
Campo 2	Mês do ano de chuva	3 caracteres
Campos 3 a 33	Dado diário de chuva (em décimos de milímetro) e situação do mesmo com relação ao processo de consistência. A ausência do dado é denotada com a convenção (-999)	5 caracteres, sendo os 4 primeiros para o dado de chuva e o 5º codificado da seguinte forma: “N”: dado normal “P”: preenchido “C”: consistido “D”: duvidoso

O formato “b” é do tipo “arquivo texto”, em ASCII. A estrutura interna de cada registro deste tipo de arquivos é apresentada na tabela 2.5 a seguir.



Tabela 2.5 - Estrutura Interna dos Registros dos Arquivos Seqüenciais de Chuva

Nome do Campo	Descrição da informação contida no campo	Extensão do campo
Campo 1	Ano do dado de chuva	4 caracteres
Campo 2	Mês do ano de chuva	3 caracteres
Campos 3 a 33	Dado diário de chuva (em milímetros). A ausência do dado é denotada com a convenção (-999.0)	7 caracteres, sendo os 5 primeiros para a parte inteira, uma para ponto decimal e outro para os décimos de milímetro de chuva

Para os dados de vazões foram utilizados dois formatos:

c – arquivos de vazões médias mensais;

d - arquivos de vazões médias diárias.

O formato “c” é do tipo “arquivo texto”, em ASCII. A estrutura interna do arquivo é apresentada na tabela 2.6 a seguir:

Tabela 2.6 - Estrutura Interna dos Arquivos de Dados Médios Mensais de Vazões

Tipo de Registro	Nome do Campo	Descrição da informação contida no campo	Extensão do campo
Cabeçalho	Campo 1	Identificação do Posto Fluviométrico ou seção de controle a que pertencem as vazões	30 caracteres
Subsequentes	Campo 1 a 10	Dez dados de vazão (em m <sup>3</sup> /s) por registro	8 caracteres, sendo os cinco primeiros para a parte inteira, o sexto para o ponto decimal e os dois subsequentes para os centésimos

O formato “d” é do tipo “arquivo texto”, em ASCII. A estrutura interna de cada registro deste tipo de arquivos é apresentada na tabela 2.7 a seguir.

Tabela 2.7 - Estrutura Interna dos Arquivos de Vazões Médias Diárias

Nome do Campo	Descrição da informação contida	Extensão do campo
Campo 1	Ano do dado de vazão	4 caracteres
Campo 2	Mês do ano de vazão	3 caracteres
Campos 3 a 33	Dado diário de vazão (em m <sup>3</sup> /s). A ausência do dado é denotada com a convenção (-20.0)	8 caracteres, sendo os 5 primeiros para a parte inteira, uma para ponto decimal e os outros dois para os centésimos

## **CAPÍTULO 3 - ESTUDO PLUVIOMÉTRICO REGIONAL**

---

---

### **3 - ESTUDO PLUVIOMÉTRICO REGIONAL**

#### **3.1 - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NO ESTUDO**

A rede pluviométrica considerada, como já foi relatado, é composta pelos postos pluviométricos da antiga rede de monitoramento da SUDENE, acrescida dos postos pluviométricos operados pelo LMRS-PB.

Esta rede abrange o território da bacia em estudo e as áreas vizinhas no estado da Paraíba. Considerando os propósitos finais do estudo foram incluídos todos os postos pluviométricos com dados disponíveis no estado da Paraíba, objetivando viabilizar uma caracterização do regime de chuvas, principalmente a nível anual e mensal, atendendo não só a necessidade do estabelecimento de séries médias diárias sobre a bacia em estudo, mas também a preocupação com uma análise de consistência que confira confiabilidade aos resultados obtidos.

Os postos pluviométricos operados pelo LMRS possuem, em geral, séries que iniciam na década dos anos 90. Trata-se de registros de curta duração. Entretanto, esses postos correspondem as observações mais recentes de pluviometria diária e, na maioria dos casos, a disponibilidade de dados se estende até o ano de 2000.

As informações mais recentes dos postos operados pela SUDENE datam, em geral, do ano de 1990; porém, os postos do LMRS são, via de regra, instalados nos mesmos locais, ou próximos, daqueles postos de responsabilidade da SUDENE. Assim, para tais casos, tentou-se a junção das séries relativas aos postos mais antigos com aqueles com informações mais recentes, perfazendo séries que se estenderiam até o ano 2.000.

Os postos para os quais era factível a referida junção preservariam o código do posto mais antigo e com maior quantidade de dados, ou seja o código do posto da SUDENE.

Este trabalho, extremamente demorado, levou a uma pré-análise das informações fornecidas pelo LMRS que, na maioria dos casos, arrojou sensíveis variações com relação às médias climatológicas relativas às informações provenientes da SUDENE.

Devido as inconsistências detectadas nos dados fornecidos pelo LMRS, neste estudo foi solicitada ao próprio LMRS uma revisão dos dados pluviométricos fornecidos, com o objetivo de incluir, posteriormente, as informações pluviométricas relativas ao período 1990-2000 nos estudos hidrológicos.

A tabela 3.1 apresenta um resumo do estudo comparativo das séries de dados pluviométricos provenientes da SUDENE e do LMRS, ressaltados os postos que apresentaram as maiores inconsistências.

A distribuição espacial dos 131 postos pluviométricos efetivamente selecionados para o estudo é mostrada no Mapa 3.1.

Tabela 3.1 - Estudo comparativo das séries fornecidas pela SUDENE e pelo LMRS-PB

posto	Resumo dos dados fornecidos pelo LMRS-PB																			Resumo dos dados fornecidos pela SUDENE		
	registro no arquivo						média													registro no arquivo		média anual
	ano inicial	mes inicial	ano final	mês final	Nº de anos	Nº de anos válidos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	ano inicial	ano final	
3824396	1935	1	2000	4	65	48	19	56	78	64	35	11	7	2	0	4	3	7	287	1935	1991	685
3824653	1994	1	2000	4	6	3	28	45	92	145	132	12	30	6	0	2	7	31	529	-	-	-
3824739	1994	1	2000	4	6	6	61	60	55	80	64	16	22	1	0	2	15	2	379	-	-	-
3824751	1931	1	2000	4	69	61	54	100	169	151	87	28	16	6	3	5	6	20	644	1931	1991	831
3824873	1994	1	2000	4	6	6	80	68	96	128	98	14	4	0	0	0	1	7	497	-	-	-
3824914	1993	1	2000	4	7	7	53	41	81	61	77	16	10	2	0	5	0	3	349	-	-	-
3824992	1962	7	1993	12	31	27	45	124	138	108	54	23	22	7	3	2	5	22	554	1962	1991	888
3825346	1962	7	1980	1	18	12	23	65	114	77	64	14	8	2	1	0	1	3	374	1962	1991	584
3825431	1994	1	2000	4	6	1	70	2	76	68	178	18	0	0	25	0	21	150	609	-	-	-
3825436	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3825701	1913	4	2000	4	87	64	39	53	113	90	49	21	9	2	2	4	5	10	395	1913	1991	787
3825913	1993	1	2000	4	7	6	46	14	48	67	56	6	0	0	0	1	5	13	255	-	-	-
3827811	1994	1	2000	4	6	3	27	21	39	102	28	2	5	3	0	0	0	3	230	-	-	-
3827961	1994	1	2000	4	6	4	10	20	33	64	62	8	20	13	2	0	0	3	234	-	-	-
3827973	1962	7	2000	4	38	30	40	55	118	113	70	47	48	26	10	10	10	22	568	1962	1991	834
3828976	1994	1	2000	4	6	3	15	11	33	32	31	16	38	22	4	0	3	4	208	-	-	-
3832089	1933	1	2000	4	67	56	48	68	137	108	66	25	16	6	2	5	7	17	504	1933	1991	760
3832185	1994	1	2000	4	6	3	135	68	103	71	50	1	7	15	6	0	1	12	469	-	-	-
3832398	1941	1	2000	4	59	39	58	68	117	93	48	21	10	4	3	5	10	20	456	1941	1991	810
3832671	1994	1	2000	4	6	4	134	145	220	156	106	14	15	1	0	2	46	39	878	-	-	-
3832682	1994	1	2000	4	6	5	146	96	160	136	76	8	12	11	0	4	26	21	696	-	-	-
3832789	1910	11	2000	4	90	76	79	108	157	108	45	18	11	3	4	7	12	28	581	1912	1991	904
3832868	1994	1	2000	4	6	4	117	81	115	82	48	1	9	2	0	3	26	34	516	-	-	-
3832956	1962	7	2000	4	38	27	101	100	131	123	43	19	12	2	2	9	12	27	581	1962	1991	860
3833018	1962	7	2000	4	38	29	52	63	90	94	51	14	6	2	0	3	2	9	386	1962	1991	798
3833068	1994	1	2000	4	6	3	37	38	76	75	39	1	3	0	0	1	7	21	296	-	-	-
3833092	1994	1	2000	4	6	4	82	54	96	69	74	4	2	9	0	4	31	28	452	-	-	-
3833235	1962	7	2000	4	38	31	60	80	97	84	45	15	10	2	0	6	6	16	421	1962	1991	844
3833285	1962	7	2000	4	38	37	55	75	110	91	62	26	14	4	2	3	6	14	460	1962	1991	828
3833413	1913	1	2000	4	87	81	72	116	177	141	65	25	11	4	5	8	12	23	659	1913	1991	898
3833554	1910	12	2000	4	90	69	49	90	121	84	45	13	7	2	2	5	7	17	442	1912	1991	771
3833588	1962	7	2000	4	38	21	81	98	161	115	74	29	19	11	6	5	8	20	626	1962	1991	880
3833639	1937	12	2000	4	63	59	86	129	197	139	60	29	15	6	4	9	14	37	725	1937	1991	901
3833835	1935	10	2000	4	65	45	66	78	106	111	39	14	6	2	1	4	11	19	457	1935	1991	885
3833869	1962	7	2000	4	38	34	129	176	211	179	73	30	17	10	4	7	20	37	893	1962	1991	993
3833908	1908	11	2000	4	92	56	80	111	154	112	43	17	9	3	3	6	8	27	572	1936	1991	913
3834137	1962	7	2000	4	38	36	48	69	109	90	56	21	10	4	2	2	2	14	427	1962	1991	817
3834217	1993	1	2000	4	7	7	28	39	68	58	71	19	4	3	4	1	4	11	309	-	-	-
3834274	1993	1	2000	4	7	7	46	66	65	100	94	23	11	3	0	2	6	23	438	-	-	-
3834389	1962	7	2000	4	38	26	21	51	71	51	23	4	3	1	0	0	4	9	238	1962	1991	573
3834538	1910	12	2000	4	90	78	52	84	137	113	56	23	9	5	1	5	7	15	506	1912	1991	703
3834877	1941	10	2000	4	59	52	63	94	155	144	70	17	15	4	2	4	9	17	594	1941	1991	788
3834894	1922	11	2000	4	78	65	56	85	163	139	58	19	12	2	2	5	7	14	562	1922	1991	698
3834945	1962	7	1981	2	19	11	68	86	181	233	123	36	9	1	31	28	32	34	864	1962	1991	999
3835734	1962	7	2000	4	38	33	42	91	131	108	45	13	7	1	1	0	7	14	460	1962	1991	835
3835882	1962	7	2000	4	38	34	37	78	118	111	36	19	13	1	1	2	4	20	439	1962	1991	749
3836503	1994	1	2000	4	6	6	27	14	84	54	33	9	1	0	1	0	3	10	235	-	-	-
3836542	1994	1	2000	4	6</																	

Tabela 3.1 - Estudo comparativo das séries fornecidas pela SUDENE e pelo LMRS-PB

posto	Resumo dos dados fornecidos pelo LMRS-PB																			Resumo dos dados fornecidos pela SUDENE		
	registro no arquivo						média													registro no arquivo		média anual
	ano inicial	mes inicial	ano final	mês final	Nº de anos	Nº de anos válidos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	ano inicial	ano final	
3838696	1994	1	2000	4	6	2	25	26	97	45	119	33	77	66	1	4	0	20	512	-	-	-
3838778	1994	1	2000	4	6	4	30	56	87	73	102	74	65	75	15	16	31	26	650	-	-	-
3838896	1994	1	2000	4	6	6	37	64	93	83	93	89	112	49	20	4	25	14	682	-	-	-
3838897	1994	1	2000	4	6	2	26	39	125	30	96	57	75	59	9	10	7	22	555	-	-	-
3838939	1994	1	2000	4	6	1	1	21	13	1	16	19	56	35	23	11	3	29	228	-	-	-
3838941	1994	1	2000	4	6	4	9	35	83	55	66	45	75	57	18	10	26	12	490	-	-	-
3838962	1910	10	2000	4	90	77	44	71	116	127	134	157	151	102	48	21	23	30	1023	1912	1991	1397
3838965	1971	1	1972	12	2	2	26	59	100	225	181	133	161	122	83	59	37	28	1214	-	-	-
3838966	1971	2	1974	1	3	1	11	83	108	244	211	173	121	127	78	41	7	62	1267	1971	1991	1350
3839176	1994	1	2000	4	6	3	19	113	82	130	152	92	62	72	7	11	4	19	763	-	-	-
3839208	1962	7	2000	4	38	31	13	28	38	37	48	38	45	15	8	3	6	7	286	1962	1991	750
3839291	1962	7	2000	4	38	26	65	100	162	181	212	186	200	100	73	34	33	41	1385	1962	1991	1738
3839292	1994	1	2000	4	6	5	33	104	127	217	133	113	113	63	35	19	28	33	1017	-	-	-
3839313	1994	1	2000	4	6	3	23	54	114	119	99	82	92	60	21	25	18	14	721	-	-	-
3839319	1994	1	2000	4	6	1	20	6	6	4	15	52	173	82	8	10	0	13	389	-	-	-
3839325	1994	1	2000	4	6	2	3	33	104	115	105	26	52	20	20	8	11	1	496	-	-	-
3839345	1962	7	2000	4	38	24	30	45	87	117	106	110	130	91	26	13	19	16	789	1962	1991	822
3839402	1994	1	2000	4	6	5	9	30	95	78	83	65	76	47	10	8	7	10	517	-	-	-
3839452	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3839503	1994	1	2000	4	6	3	45	46	76	53	82	26	60	35	10	9	1	15	457	-	-	-
3839655	1994	1	2000	4	6	4	14	53	59	101	156	108	84	57	22	23	14	20	710	-	-	-
3839679	1910	10	2000	4	90	69	53	83	168	158	191	196	163	82	42	19	23	41	1221	1912	1991	1459
3839687	1994	1	2000	4	6	3	18	61	51	44	126	51	119	62	16	10	2	36	595	-	-	-
3839704	1910	11	2000	4	90	47	45	52	123	129	111	137	91	63	26	12	15	32	836	1912	1991	1096
3839727	1962	7	2000	4	38	32	34	843	91	116	101	94	107	51	21	13	15	13	1498	1962	1991	964
3839851	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3839862	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3842185	1935	1	2000	4	65	61	66	998	162	115	38	13	4	2	2	7	17	29	1453	1935	1991	802
3842487	1994	1	2000	4	6	4	74	76	118	99	51	5	13	2	0	14	18	26	495	-	-	-
3842698	1933	1	2000	4	67	57	77	986	159	145	53	23	14	7	7	12	25	45	1554	1933	1991	897
3843036	1994	1	2000	4	6	4	155	99	137	128	80	2	1	11	6	2	13	21	655	-	-	-
3843042	1933	11	1977	6	44	33	80	1087	218	139	50	18	6	4	2	17	14	29	1664	1933	1991	903
3843166	1933	11	2000	4	67	59	55	938	139	135	56	19	10	4	1	7	15	28	1407	1933	1991	875
3843202	1911	1	2000	4	89	61	102	1027	200	163	64	29	13	4	7	10	20	35	1675	1912	1991	978
3843373	1994	1	2000	4	6	5	150	94	208	159	108	15	14	10	0	6	37	42	844	-	-	-
3843537	1933	10	2000	4	67	51	49	85	117	101	29	9	2	1	0	5	10	13	421	1933	1991	720
3843541	1994	1	2000	4	6	4	116	77	184	168	85	23	14	15	1	10	20	51	762	-	-	-
3843667	1910	10	2000	4	90	72	75	131	200	158	70	32	15	5	10	10	20	46	771	1912	1991	858
3843727	1933	10	1993	2	60	49	86	127	201	174	74	40	21	7	4	10	25	35	804	1933	1991	867
3843852	1994	1	2000	4	6	4	45	37	106	50	47	2	2	0	0	1	14	31	336	-	-	-
3843857	1962	7	2000	4	38	31	82	96	159	147	53	20	22	7	7	11	19	36	658	1962	1991	926
3843888	1994	1	2000	4	6	4	66	46	97	87	74	13	1	8	0	4	41	45	481	-	-	-
3843919	1962	7	2000	4	38	35	117	170	216	190	77	39	24	5	10	9	14	51	921	1962	1991	899
3843992	1933	10	2000	4	67	61	73	111	164	141	47	21	14	4	7	9	17	47	655	1933	1991	897
3844007	1964	12	1977	12	13	13	84	116	236	198	102	33	24	2	6	16	18	35	871	-	-	-
3844008	1933	6	2000	4	67	57	83	121	192	160	69	26	15	7	3	10	23	26	734	1933	1991	871
3844247	1994	1	2000	4	6	6	65	47	92	83	62	14	15	4								



Tabela 3.1 - Estudo comparativo das séries fornecidas pela SUDENE e pelo LMRS-PB

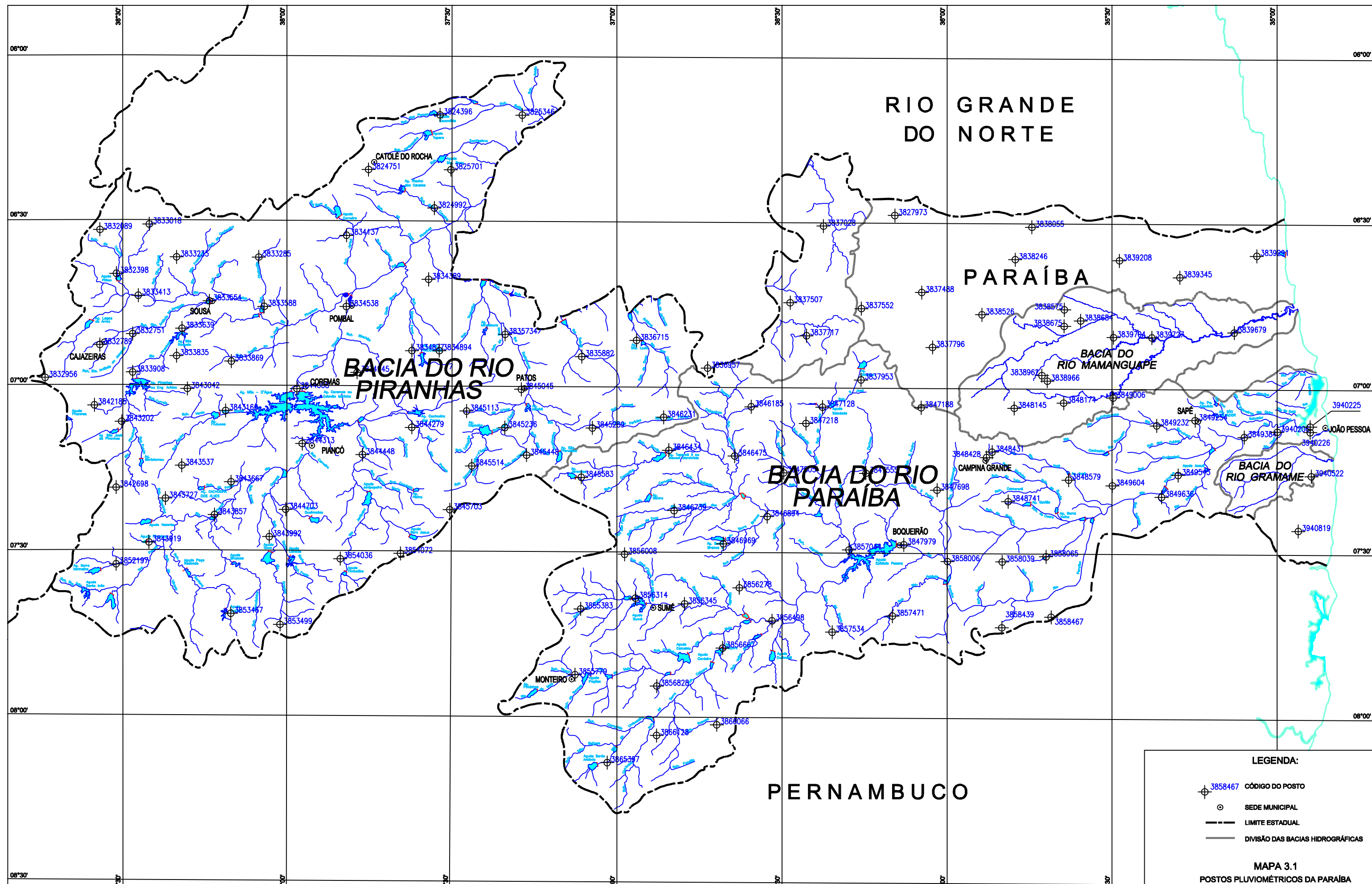
posto	Resumo dos dados fornecidos pelo LMRS-PB																			Resumo dos dados fornecidos pela SUDENE		
	registro no arquivo						média													registro no arquivo		média anual
	ano inicial	mes inicial	ano final	mês final	Nº de anos	Nº de anos válidos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	ano inicial	ano final	
3847218	1958	2	1992	4	34	27	23	42	103	101	34	30	34	11	6	5	2	10	400	1958	1991	443
3847306	1994	1	2000	4	6	6	31	31	70	54	14	14	17	7	3	3	2	14	258	-	-	-
3847505	1962	7	2000	4	38	31	21	49	72	63	33	22	27	8	3	1	4	8	312	1962	1991	430
3847555	1923	1	2000	4	77	45	13	13	47	34	27	27	24	12	3	2	3	5	209	1923	1991	412
3847698	1962	7	1980	2	18	13	17	6	27	35	28	20	26	4	5	3	0	0	172	1962	1991	307
3847793	1994	1	2000	4	6	1	0	13	21	4	8	34	46	3	0	0	0	20	148	-	-	-
3847979	1961	3	2000	4	39	34	20	33	57	77	43	43	50	20	12	5	6	14	379	1961	1991	491
3848022	1994	1	2000	4	6	4	17	29	54	86	79	38	60	48	15	7	17	20	470	-	-	-
3848028	1994	1	2000	4	6	6	12	25	58	65	72	48	51	40	9	9	9	13	411	-	-	-
3848113	1994	1	2000	4	6	2	9	0	5	0	8	2	10	4	0	8	0	7	55	-	-	-
3848132	1994	1	2000	4	6	3	19	59	107	59	115	43	67	60	9	10	1	27	576	-	-	-
3848145	1911	1	2000	4	89	79	50	75	119	126	136	153	126	96	35	17	22	28	984	1912	1991	1236
3848174	1910	10	2000	4	90	54	7	10	19	17	18	17	18	8	6	2	3	5	129	1912	1991	863
3848226	1994	1	2000	4	6	5	3	17	42	31	49	47	63	39	5	7	2	17	320	-	-	-
3848248	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3848311	1983	1	2000	4	17	16	4	13	22	23	20	26	30	23	4	3	2	3	173	-	-	-
3848327	1994	1	2000	4	6	5	6	31	41	74	61	71	106	74	7	10	10	6	495	-	-	-
3848331	1994	1	2000	4	6	3	18	46	89	53	106	43	92	91	10	14	1	18	578	-	-	-
3848356	1994	1	2000	4	6	6	16	37	87	76	109	81	62	69	10	11	8	20	586	-	-	-
3848366	1994	1	2000	4	6	3	38	67	64	30	75	29	68	76	4	11	0	24	486	-	-	-
3848392	1994	1	2000	4	6	6	23	34	72	80	94	68	69	42	8	6	7	15	518	-	-	-
3848428	1910	10	2000	4	90	72	4	7	16	17	18	17	18	10	4	2	2	3	120	1912	1991	748
3848429	1964	1	1985	12	21	12	4	6	9	13	9	10	13	5	5	1	2	2	80	-	-	-
3848431	1962	7	1968	9	6	4	36	38	76	166	107	145	146	83	48	26	38	53	962	1962	1991	984
3848473	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3848504	1994	1	2000	4	6	4	1	31	32	63	57	55	30	23	1	0	11	0	303	-	-	-
3848537	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3848579	1910	10	2000	4	90	81	22	30	55	60	65	67	59	38	17	8	10	15	445	1912	1991	623
3848604	1994	1	2000	4	6	3	4	7	39	40	52	31	59	43	6	10	0	8	299	-	-	-
3848647	1994	1	2000	4	6	4	4	17	14	19	16	7	10	14	1	0	1	0	101	-	-	-
3848741	1962	7	2000	4	38	35	23	35	88	87	85	84	104	54	30	11	9	20	628	1962	1991	967
3848773	1994	1	2000	4	6	6	16	44	57	68	90	82	61	30	13	4	7	12	482	-	-	-
3849006	1926	1	2000	4	74	55	37	59	99	110	119	119	99	58	30	12	12	22	774	1926	1991	802
3849137	1994	1	2000	4	6	3	41	68	104	47	135	67	76	56	10	18	1	48	671	-	-	-
3849216	1994	1	2000	4	6	5	9	48	61	39	57	32	65	31	10	3	3	9	368	-	-	-
3849232	1962	7	2000	4	38	34	37	54	98	115	120	107	129	62	39	17	14	24	815	1962	1991	981
3849254	1924	6	2000	4	76	69	31	51	95	106	102	106	89	51	30	13	13	19	703	1924	1991	1027
3849384	1911	1	2000	4	89	42	55	80	147	158	159	170	140	85	58	30	31	37	1149	1912	1991	1331
3849394	1970	1	1972	12	3	3	79	75	74	216	213	200	160	210	51	42	30	24	1373	-	-	-
3849423	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3849545	1922	11	2000	4	78	42	26	50	93	110	89	82	96	40	23	15	17	11	650	1922	1991	840
3849561	1994	1	2000	4	6	5	6	23	22	20	38	32	49	22	5	5	9	8	239	-	-	-
3849604	1962	7	2000	4	38	13	29	26	76	102	93	95	85	50	20	12	15	19	623	1962	1991	872
3849636	1910	11	2000	4	90	78	22	37	66	81	67	68	61	26	17	9	10	12	476	1912	1991	715
3849714	1994	1	2000	4	6	4	5	25	38	66	21	25	35	33	7	2	5	2	262	-	-	-
3849755	1994	1	2000	4	6	4	9	30	63	86	86	53	61	57	14	13	4	5	481	-	-	-
3849881	1994	1	2000	4	6	5	22	50	75	171	141	70	116	89	20	16	17	24	811	-	-	-
3852197	1910	10	2000	4	90	82	50	72	91	75	29	13	6	3	3							

Tabela 3.1 - Estudo comparativo das séries fornecidas pela SUDENE e pelo LMRS-PB

posto	Resumo dos dados fornecidos pelo LMRS-PB																			Resumo dos dados fornecidos pela SUDENE		
	registro no arquivo						média													registro no arquivo		média anual
	ano inicial	mes inicial	ano final	mês final	Nº de anos	Nº de anos válidos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	ano inicial	ano final	
3858003	1970	2	1972	9	2	1	0	4	29	74	76	37	54	5	11	1	0	0	291	-	-	-
3858006	1933	6	2000	4	67	63	8	20	30	40	22	26	23	10	5	4	3	4	192	1933	1991	440
3858007	1994	1	2000	4	6	4	14	27	60	57	32	25	35	15	7	6	7	5	289	-	-	-
3858039	1962	7	2000	4	38	33	17	29	73	110	68	71	82	36	21	5	6	18	535	1962	1991	570
3858065	1962	7	2000	4	38	35	22	30	61	68	54	63	68	26	17	6	8	16	438	1962	1991	630
3858293	1994	1	2000	4	6	4	12	44	45	108	83	61	84	66	16	13	23	8	564	-	-	-
3858429	1994	1	2000	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
3858439	1962	7	2000	4	38	36	19	35	63	70	66	76	87	41	21	8	8	12	506	1962	1991	658
3858467	1910	10	2000	4	90	82	17	22	50	62	71	69	68	37	19	7	8	13	444	1912	1991	683
3865397	1962	7	2000	4	38	32	30	50	107	60	31	17	15	5	5	8	14	17	358	1962	1991	578
3866066	1962	7	2000	4	38	36	34	40	72	74	44	46	46	23	12	9	8	21	428	1962	1991	718
3866128	1935	3	2000	4	65	61	29	53	107	80	34	26	17	7	3	5	8	15	383	1935	1991	465
3930312	1994	1	2000	4	6	2	15	66	93	131	176	244	130	97	19	20	13	11	1014	-	-	-
3930729	1994	1	2000	4	6	3	23	66	97	73	176	151	158	106	14	23	3	25	914	-	-	-
3930938	1994	1	2000	4	6	1	10	42	33	19	170	110	148	43	15	58	2	34	683	-	-	-
3940206	1910	10	2000	4	90	67	48	56	115	147	150	163	135	69	36	17	16	27	979	1912	1991	1393
3940216	1994	1	2000	4	6	3	56	78	94	78	165	94	72	98	12	15	10	38	808	-	-	-
3940225	1912	7	1985	12	73	53	65	76	165	210	224	254	199	116	51	20	25	33	1437	1912	1991	1622
3940226	1964	5	2000	4	36	12	73	73	151	196	223	255	210	108	62	23	17	25	1415	1964	1991	2005
3940321	1994	1	2000	4	6	4	37	38	78	147	143	123	107	107	46	35	20	28	909	-	-	-
3940437	1994	1	2000	4	6	3	54	81	96	78	228	154	161	160	24	23	15	24	1097	-	-	-
3940503	1994	1	2000	4	6	2	5	36	108	188	98	133	138	153	62	31	31	11	994	-	-	-
3940522	1962	7	2000	4	38	8	69	70	129	147	209	194	199	160	80	75	26	41	1397	1962	1991	1801
3940819	1936	1	2000	4	64	58	64	88	175	207	258	265	233	137	65	34	35	44	1602	1936	1991	1743
3940942	1994	1	2000	4	6	1	21	68	79	40	241	85	115	131	30	40	2	66	916	-	-	-
3950017	1994	1	2000	4	6	2	48	51	80	95	159	93	181	115	43	41	12	21	939	-	-	-

10 postos com médias anuais mais discrepantes  
20 postos seguintes com médias anuais mais discrepantes





A análise de consistência aplicada procedeu à classificação dos postos pluviométricos em 3 grupos, cada um destes associado à áreas com características pluviométricas homogêneas e disponibilidade de dados semelhante. Os grupos de postos pluviométricos foram os seguintes:

- 1 - Piancó;
- 2 - Depressão de Patos;
- 3 - Bacia do Paraíba;

A observação da disponibilidade de dados para os postos correspondentes aos três grupos levou a constatação de algumas lacunas de dados que não permitiam o estabelecimento de séries tão longas quanto desejado. Assim, se procedeu ao adensamento de informações mediante a incorporação de alguns postos por intercâmbio entre os grupos, ficando aqueles comuns a mais de um grupo.

### **3.2 – ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA**

A análise de consistência das séries pluviométricas foi processada a nível anual e mensal. Face à inexistência de uma metodologia para o tratamento a nível diário, procedeu-se apenas a compatibilização de tais séries com as correspondentes séries mensais consistidas, obtendo-se, portanto, nos três níveis, séries compatíveis entre si.

A análise posta em prática, sobre as séries disponíveis, teve como diretriz a identificação e correção de desvios característicos em cada uma das séries, quando comparadas com uma base regional; além do mais desenvolveu-se, em uma primeira versão, o preenchimento de falhas para períodos cuja complementação pode ser conveniente aos estudos de modelagem da lâmina escoada a serem apresentados posteriormente.

Os desvios característicos abordados são aqueles mais comumente encontrados nas séries pluviométricas e podem, de forma geral, ser classificados quanto à sua disposição ao longo das observações, em sistemáticos e isolados:

- **desvios sistemáticos:** estes desvios são facilmente identificáveis, e geralmente decorrem de incompatibilidades entre as peças de medição (provetas e pluviômetros) ou alterações das condições circunvizinhas do posto que influenciam as medições, como por exemplo, o crescimento ou corte de árvores próximas; esses desvios são normalmente temporários;
- **desvios isolados:** estes desvios são de caráter mais pontual e imprevisível; são várias as causas deste tipo de desvio, que compreendem desde os totais "imaginados" por um operador até erros de transcrição das leituras.

A ocorrência simultânea dos dois tipos de desvio acima descritos acarreta desvios complexos, em geral, de difícil correção.

### 3.2.1 - METODOLOGIA EMPREGADA NA ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

A base regional acima referida ou simplesmente denominada estação regional, é definida por HIEZ e RANCAN (1983)<sup>(1)</sup> como "uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos ou fluviométricos anuais ou mensais, oriundos da extrapolação por um método de máxima verosimilhança, da informação mais provável, contida nos dados de um conjunto de observações de estações agrupadas por região". Essa série constitui o chamado Vetor Regional.

Estes índices pluviométricos são únicos para toda uma região e estão relacionados às alturas precipitadas em cada posto por meio de coeficientes apropriados, de modo que a estimativa da altura precipitada (anual ou mensal), no período  $i$ , no posto  $j$ , resulta:

$$P_{i,j} = L_i C_j$$

sendo:

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  (número de anos);

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  (número de postos);

---

<sup>(1)</sup> HIEZ, G.L.G. & RANCAN, L. Aplicação do Método do Vetor Regional no Brasil, V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Volume 2, 1983.

$L_i$  = Vetor Regional;

$C_j$  = Vetor de Coeficientes.

O processo adotado para a estimativa do Vetor Regional e do Vetor de Coeficientes é de natureza iterativa, pois considerando a incompatibilidade entre o número de incógnitas e de equações é impossível uma estimativa direta.

A representatividade do vetor regional será máxima quando a função “ $E^2$ ”, composta pelos desvios entre o vetor regional e as precipitações observadas atingir um mínimo, assim:

$$\min E^2 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{i,j}^2 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P'_{i,j} - P_{i,j})^2$$

derivando a função “ $E^2$ ” em relação as variáveis “ $L$ ” e “ $C$ ” e igualando ambas derivadas parciais a zero obtém-se as seguintes equações:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^m C_j P'_{i,j}}{\sum_{j=1}^m C_j^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n L_i P'_{i,j}}{\sum_{i=1}^n L_i L_i} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

### 3.2.2 – TRATAMENTO A NÍVEL ANUAL

Considerando-se a menor variabilidade, em comparação com as séries mensais, das seqüências de precipitações totais anuais, tais séries constituem um ótimo referencial para detecção de prováveis inconsistências.

A plotagem da dupla acumulação do Vetor Regional com qualquer uma das séries utilizadas na sua estimativa pode fornecer configurações típicas que possibilitam a visualização de desvios isolados, sistemáticos ou complexos.

Estas anomalias podem ser eliminadas quando ocorrem isoladamente; porém, em alguns casos o efeito combinado de desvios de múltipla natureza desestabiliza a curva dupla acumulativa de forma complexa, originando configurações de difícil correção.

### 3.2.2.1 - CRITÉRIOS DE CORREÇÃO

As correções a serem efetuadas podem ser facilmente percebidas analisando a curva dupla acumulativa da série em tratamento com sua correspondente base regional, e observando-se a ordem de grandeza dos desvios absolutos e relativos entre a série anual e a série sintética obtida com o vetor regional. Os valores a serem consistidos têm seus desvios claramente acima da média dominante.

Como exemplo desta colocação na Figura 3.1 é mostrado para o posto Nº 3858006 (Bodocongó) os desvios da curva dupla acumulativa, na qual constata-se claramente desvios isolados na década de 50, provenientes, muito provavelmente, da omissão na leitura de valores precipitados. Afirma-se que se tratam de desvios isolados, visto que para o ano de 1955 este cessa, começando novamente no ano seguinte.

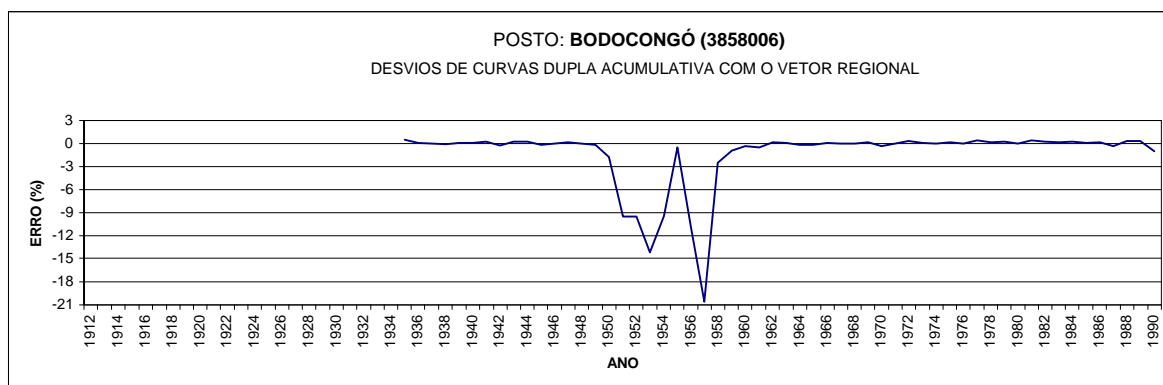


Figura 3.1 – Desvios de curva dupla acumulativa com o vetor regional – Posto Bodocongó (3858006)

Identificadas as anomalias, procede-se a sua classificação em um dos tipos descritos anteriormente. Os valores identificados são substituídos pelo correspondente sintético adicionado de uma parcela randômica ( $t$ ) de distribuição Normal, com média e desvio padrão iguais aos dos respectivos vetores de desvios.

A função “t” é obtida com base numa variável aleatória com distribuição normal  $N(0,1)$ , gerada a partir de números pseudo aleatórios com distribuição uniforme.

Este procedimento baseia-se no princípio segundo o qual toda série de totais anuais de chuva se distribui segundo uma Normal; assim a diferença entre duas séries anuais resulta em uma série com distribuição de frequências também descrita pela Normal. A parcela aleatória a ser adicionada ao valor anual calculado com base no Vetor Regional será:

$$t_i = d_i + s_i k_i$$

onde:

$d_i$  : média dos desvios para a série correspondente ao posto  $j$ ;

$s_i$  : desvio padrão dos desvios para a série correspondente ao posto  $j$ ;

$k_i$  : número aleatório com distribuição  $N(0,1)$ .

### 3.2.2.2 – PREENCHIMENTO DE FALHAS

As falhas anuais são opcionalmente preenchidas pelo valor sintético correspondente, adicionado da parcela randômica obtida conforme acima descrito. Detalhes sobre esse procedimento e todas as etapas seguidas para a análise de consistência podem ser encontrados em SARMENTO (1991) <sup>(2)</sup>.

---

<sup>(2)</sup> SARMENTO, F.J. Homogeneização e Preenchimento de Séries Pluviométricas : Uma Investigação com o Vetor Regional, IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Rio de Janeiro, Volume 2, 1991.

### **3.2.3 – TRATAMENTO A NÍVEL MENSAL**

#### **3.2.3.1 – CRITÉRIOS DE CORREÇÃO**

O tratamento a nível mensal inclui uma dificuldade adicional, dado que os desvios mensais não apresentam uma distribuição de probabilidades de tipo Normal. Assim fica descartada a aplicação de um procedimento análogo ao utilizado a nível anual, adotando-se apenas a compatibilização da série mensal consistida com sua correspondente anual segundo as seguintes etapas :

- a) identificação e classificação dos desvios anuais;
- b) identificação dos totais mensais a serem corrigidos; em todos os casos, pelo menos um dos totais mensais em um dado ano para o qual constatou-se inconsistência no passo anterior apresenta um desvio absoluto, do mesmo sinal e superior aos demais, caracterizando assim seu efeito no valor anual anormal. A soma dos desvios dos valores a serem consistidos totalizam, aproximadamente, o correspondente desvio anual;
- c) os valores identificados no passo “b” são substituídos por seus respectivos valores sintéticos. Os doze totais mensais são então somados obtendo-se, desta forma, um valor anual que pode ser diferente daquele obtido conforme descrito no item referente a critérios de correção para totais anuais;
- d) a diferença entre os dois valores anuais referidos no passo anterior é desagregada proporcionalmente entre os totais mensais consistidos. Obtém-se, assim, os valores finais da série mensal consistida.

Além da simplicidade, o procedimento descrito apresenta a vantagem de corrigir principalmente os meses com maior número de dias chuvosos, o que é coerente com a idéia de proporcionalidade entre o número de leituras efetuadas pelo operador ao longo do mês e a probabilidade de leituras errôneas.

#### **3.2.3.2 – PREENCHIMENTO DE FALHAS**

A ausência de totais mensais é tratada de forma semelhante ao procedimento descrito no item anterior; porém, quando se calculam os percentuais de contribuição, para efetuar-se as desagregações, são utilizados os valores sintéticos, dada a



inexistência do valor histórico. No caso de um ano sem nenhuma informação, seus totais poderão ser preenchidos pelos valores calculados com base no Vetor Regional mensal. Tais valores são totalizados anualmente, calculando-se, em seguida, o percentual de contribuição de cada um destes sobre esta soma; tais percentuais são utilizados como desagregadores do correspondente valor anual obtido conforme a metodologia de correção para totais anuais.

### **3.2.4 – TRATAMENTO A NÍVEL DIÁRIO**

#### **3.2.4.1 – COMPATIBILIZAÇÃO COM A SÉRIE MENSAL**

Nesta etapa dispõem-se de séries anuais e mensais já consistidas e compatíveis entre si, porém, incompatíveis, pelo menos nos anos com valores consistidos, com a série histórica diária. Para tais anos processa-se então a correção dos valores diários correspondentes aos meses consistidos de maneira semelhante à desagregação descrita a nível mensal: os percentuais de cada um dos dias de um dado mês consistido sobre o correspondente valor histórico mensal são calculados e utilizados para desagregação do valor consistido mensal.

Decorre desse procedimento que as correções efetuadas serão proporcionais à ordem de grandeza da chuva diária, e, conseqüentemente, à distribuição de ocorrência de dias chuvosos no mês é preservada.

#### **3.2.4.2 – PREENCHIMENTO DAS FALHAS**

O preenchimento de falhas a nível diário constitui ainda um campo aberto a pesquisa. O procedimento descrito a seguir objetiva, fundamentalmente, a preservação do valor mensal consistido, por ser este, dentro das limitações do método, o mais provável de haver ocorrido.

O princípio é o mesmo utilizado na desagregação do valor mensal; para isso, faz-se necessário uma estimativa preliminar dos valores diários. A obtenção desses valores iniciais é feita a partir de uma regressão linear múltipla, envolvendo postos vizinhos (variáveis independentes) que se encontrem próximos e possuam média anual e altitude média da mesma ordem de grandeza do posto dependente. Os coeficientes dos postos escolhidos são determinados pela aplicação do método dos mínimos quadrados sobre um ano que apresente, tanto para o posto dependente como para o(s)



independente(s), um valor compatível, em ordem de grandeza, com o total preenchido para o ano tratado no primeiro.

O coeficiente de correlação múltipla, obtido com a equação acima citada, geralmente é inferior a 0,60 devido à elevada variabilidade temporal e espacial da chuva na região. Assim, a tendência, para chuvas de duração inferior ao mês, é a de não preservação da distribuição de ocorrência.

Este recurso deve ser utilizado com extremo cuidado, e em situações onde os erros associados ao processo não prejudiquem os resultados, é o caso de séries de precipitações a serem utilizadas em balanços hídricos de umidade do solo ou como variável de entrada para modelos de transformação chuva - deflúvio, onde o preenchimento de valores diários, mesmo com as restrições acima discutidas, representa uma situação mais favorável da que se obteria realizando o mesmo balanço de umidade do solo a nível mensal ou utilizando modelos de passo de tempo mensal, menos precisos.

Aplicações como o dimensionamento de obras hidráulicas mediante a aplicação de metodologias que utilizam distribuições estatísticas de máximos ou mínimos de precipitação diária não podem ser aplicadas a séries com preenchimento diário, visto que as mesmas não conservam as características da distribuição de chuvas original.

### **3.2.5 – RESULTADOS E CONCLUSÕES**

A análise de consistência, além de fornecer correções de valores anômalos e preenchimento das falhas, mostrou a inadequabilidade da utilização de alguns postos, em decorrência, principalmente, do elevado número de falhas ou correções. As Tabelas 3.2 a 3.4 apresentam um resumo dos resultados obtidos na consistência dos três grupos estudados, fornecendo um indicador decisivo da possibilidade de utilização, ou não, de cada um dos postos integrantes dos mesmos.

Estas tabelas apresentam, para os postos estudados, as seguintes informações:

- ano de início da série e ano final da análise de consistência para aquele postos;

- número de anos normais, ou seja número de anos com total anual original (sem preenchimento ou consistência, trata-se portanto do número de anos consistentes);
- número de anos preenchidos, incluídos os anos até o último ano onde foi possível aplicar a metodologia, caso o posto tenha encerrado sua operação antes daquele ano);
- percentual de anos preenchidos, relativo à extensão, em anos, desde a instalação do posto até o último ano com dados no mesmo;
- número de anos consistidos ao longo da série disponível;
- percentual de anos consistidos relativo à extensão em anos desde a instalação do posto até o último ano com dados.

As colunas restantes apresentam informações da mesma natureza sobre valores preenchidos e consistidos a nível mensal. A observação destes percentuais permite uma imediata avaliação da qualidade do posto em foco, servindo portanto de elemento norteador da decisão de uso ou não dos postos para as demais etapas de desenvolvimento do presente estudo.

Tabela 3.2 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Piancó pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1991)

POSTO		ANO	ANO	ANOS	ANOS	%	ANOS	%	MESES	%	MESES	%
CÓDIGO	NOME	INICIAL	FINAL	NORMAIS	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.
3824396	BELEM DO BREJO DO CRUZ	1935	1991	36	14	22,2	7	11,1	111	14,7	23	3,0
3824751	CATOLE DO ROCHA	1931	1991	45	7	10,4	9	13,4	69	8,6	25	3,1
3824992	JENIPAPEIRO DOS CARREI OS	1962	1991	26	3	8,3	1	2,8	10	2,3	3	0,7
3825346	S. JOSE DO BREJO DO CRUZ	1962	1991	8	18	50,0	4	11,1	167	38,7	12	2,8
3825701	BREJO DO CRUZ	1913	1991	41	23	27,1	15	17,6	175	17,2	36	3,5
3832089	BARRA DO JUA	1933	1991	46	10	15,4	3	4,6	32	4,1	10	1,3
3832398	PILOES AC	1941	1991	34	14	24,6	3	5,3	119	17,4	7	1,0
3832789	CAJAZEIRAS	1912	1991	62	15	17,4	3	3,5	84	8,1	9	0,9
3832956	BALANCAS	1962	1991	19	10	27,8	1	2,8	70	16,2	4	0,9
3833018	UIRAUNA	1962	1991	17	9	25,0	4	11,1	47	10,9	11	2,5
3833235	S. VICENTE ST	1962	1991	19	8	22,2	3	8,3	38	8,8	14	3,2
3833285	S. FRANCISCO	1962	1991	23	4	11,1	3	8,3	12	2,8	8	1,9
3833413	ANTENOR NAVARRO	1913	1991	61	6	7,1	12	14,1	10	1,0	40	3,9
3833554	SOUZA	1912	1991	56	17	19,8	7	8,1	119	11,5	20	1,9
3833588	APARECIDA	1962	1991	15	15	41,7	0	0,0	83	19,2	0	0,0
3833639	S. GONCALO	1937	1991	42	13	21,3	0	0,0	124	16,9	0	0,0
3833835	NAZAREZINHO	1935	1991	31	22	34,9	4	6,3	124	16,4	9	1,2
3833869	S. JOSE DA LAGOA TAPADA	1962	1991	26	2	5,6	2	5,6	11	2,5	4	0,9
3833908	ENGENHEIRO AVIDOS AC	1936	1991	40	14	22,6	2	3,2	92	12,4	10	1,3
3834137	JERICO	1962	1991	26	1	2,8	3	8,3	7	1,6	10	2,3
3834389	DESTERRO DE MALTA	1962	1991	8	10	27,8	12	33,3	86	19,9	39	9,0
3834538	POMBAL	1912	1991	63	10	11,6	7	8,1	29	2,8	24	2,3
3834877	CONDADO	1941	1991	45	6	10,5	0	0,0	43	6,3	0	0,0
3834894	MALTA	1922	1991	47	14	18,4	9	11,8	49	5,4	28	3,1
3834945	CAJAZEIRINHAS	1962	1991	9	19	52,8	2	5,6	165	38,2	8	1,9
3835734	S. JOSE DO ESPINHARAS	1962	1991	24	5	13,9	1	2,8	32	7,4	3	0,7
3842185	ARAPUA ST	1935	1991	49	2	3,2	6	9,5	15	2,0	28	3,7
3842698	BONITO DE SANTA FE	1933	1991	42	9	13,8	8	12,3	50	6,4	36	4,6
3843042	TIMBAUBA FZ	1933	1991	31	26	40,0	2	3,1	248	31,8	9	1,2
3843166	AGUIAR	1933	1991	45	7	10,8	7	10,8	30	3,8	28	3,6
3843202	S. JOSE DE PIRANHAS	1912	1991	50	28	32,6	2	2,3	324	31,4	8	0,8
3843537	SERRA GRANDE	1933	1991	28	16	24,6	15	23,1	56	7,2	70	9,0
3843667	ITAPORANGA	1912	1991	60	16	18,6	4	4,7	126	12,2	15	1,5
3843727	BOM JESUS	1933	1991	37	18	27,7	4	6,2	75	9,6	17	2,2
3843857	S. BOAVENTURA	1962	1991	22	7	19,4	1	2,8	32	7,4	3	0,7
3843919	IBIARA	1962	1991	21	3	8,3	6	16,7	8	1,9	26	6,0
3843992	NOVA OLINDA	1933	1991	51	4	6,2	4	6,2	18	2,3	17	2,2
3844008	CUREMAS AC	1933	1991	42	16	24,6	1	1,5	117	15,0	5	0,6
3844279	CATINGUEIRA	1933	1991	43	7	10,8	9	13,8	31	4,0	37	4,7
3844313	PIANCO	1912	1991	57	15	17,4	8	9,3	180	17,4	32	3,1
3844448	OLHO D AGUA	1933	1991	35	9	13,8	15	23,1	62	7,9	73	9,4
3844703	GARROTES	1962	1991	21	4	11,1	5	13,9	13	3,0	23	5,3
3845045	PATOS	1912	1991	31	32	37,2	17	19,8	243	23,5	48	4,7
3845113	STA. TERESINHA	1962	1991	25	2	5,6	3	8,3	8	1,9	13	3,0
3845236	PORCOS FZ	1933	1991	33	20	30,8	6	9,2	162	20,8	19	2,4
3845448	TEIXEIRA	1912	1991	45	19	22,1	16	18,6	120	11,6	52	5,0
3845514	MAE D AGUA DE DENTRO	1933	1991	33	16	24,6	10	15,4	95	12,2	28	3,6
3845703	IMACULADA	1933	1991	54	1	1,5	4	6,2	12	1,5	14	1,8
3852197	CONCEICAO	1912	1991	57	7	8,1	16	18,6	14	1,4	63	6,1
3853467	MANAIRA	1933	1991	45	9	13,8	5	7,7	57	7,3	24	3,1
3853499	PRINCESA ISABEL	1912	1991	74	1	1,2	5	5,8	1	0,1	22	2,1
3854036	JURU	1962	1991	27	3	8,3	0	0,0	9	2,1	0	0,0
3854072	AGUA BRANCA	1931	1991	47	8	11,9	6	9,0	42	5,2	23	2,9

Percentual de anos preenchidos no grupo: 30,1 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de anos consistidos no grupo: 15,3 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de meses preenchidos no grupo: 13,8 relativo ao número de meses com total mensal.

Percentual de meses consistidos no grupo: 3,7 relativo ao número de meses com total mensal.

Tabela 3.3 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Depressão de Patos pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1991)

POSTO		ANO	ANO	ANOS	ANOS	%	ANOS	%	MESES	%	MESES	%
CÓDIGO	NOME	INICIAL	FINAL	NORMAIS	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.
3827973	CUITE	1962	1991	23	6	16,7	1	2,8	48	11,1	5	1,2
3835882	S. MAMEDE	1962	1991	27	3	8,3	0	0,0	19	4,4	0	0,0
3836715	STA. LUZIA	1912	1991	59	7	8,1	14	16,3	34	3,3	56	5,4
3837028	PICUI	1912	1991	48	14	16,3	18	20,9	102	9,9	74	7,2
3837488	BARRA DE STA. ROSA	1930	1991	38	16	23,5	8	11,8	134	16,4	25	3,1
3837507	PEDRA LAVRADA	1934	1991	46	6	9,4	6	9,4	20	2,6	29	3,8
3837552	SOSSEGO	1962	1991	25	4	11,1	1	2,8	13	3,0	8	1,9
3837717	SERIDO	1962	1991	16	3	8,3	11	30,6	14	3,2	47	10,9
3837796	ALGODAO	1962	1991	25	4	11,1	1	2,8	35	8,1	4	0,9
3837953	OLIVEDOS	1933	1991	49	5	7,7	5	7,7	11	1,4	20	2,6
3845289	PASSAGEM	1962	1991	19	7	19,4	4	11,1	18	4,2	14	3,2
3845583	DESTERRO	1923	1991	43	10	13,3	16	21,3	65	7,2	32	3,6
3846185	JUAZEIRINHO	1962	1991	25	4	11,1	1	2,8	18	4,2	4	0,9
3846231	SALGADINHO	1935	1991	39	9	14,3	9	14,3	34	4,5	31	4,1
3846434	TAPEROA	1912	1991	35	34	39,5	11	12,8	174	16,9	30	2,9
3846475	STO. ANDRE	1962	1991	22	6	16,7	2	5,6	53	12,3	7	1,6
3846739	S. JOSE DOS CORDEIROS	1962	1991	22	6	16,7	2	5,6	33	7,6	4	0,9
3846894	S. JOAO DO CARIRI	1912	1991	44	15	17,4	21	24,4	135	13,1	76	7,4
3846969	SERRA BRANCA	1962	1991	24	4	11,1	2	5,6	26	6,0	5	1,2
3847128	SOLEDADE	1912	1991	53	14	16,3	13	15,1	83	8,0	54	5,2
3847188	POCINHOS	1923	1991	51	14	18,7	4	5,3	68	7,6	27	3,0
3847218	STA. TEREZA FZ	1958	1991	25	7	17,5	2	5,0	47	9,8	3	0,6
3847505	GURJAO	1962	1991	23	5	13,9	2	5,6	20	4,6	4	0,9
3847555	BOA VISTA	1923	1991	34	31	41,3	4	5,3	327	36,3	20	2,2
3847698	CATOLE	1962	1991	9	17	47,2	4	11,1	156	36,1	17	3,9
3847979	BOQUEIRAO AC	1961	1991	17	9	24,3	5	13,5	79	17,8	19	4,3
3855383	PRATA	1962	1991	25	4	11,1	1	2,8	28	6,5	2	0,5
3855779	MONTEIRO	1912	1991	36	35	40,7	9	10,5	209	20,3	32	3,1
3856278	COXIDOLA	1962	1991	22	4	11,1	4	11,1	12	2,8	22	5,1
3856314	SUME	1931	1991	33	20	29,9	8	11,9	151	18,8	26	3,2
3856345	SUCURU	1962	1991	4	25	69,4	1	2,8	274	63,4	4	0,9
3856498	CARAUBAS	1931	1991	46	6	9,0	9	13,4	33	4,1	28	3,5
3856667	CONGO	1962	1991	16	8	22,2	6	16,7	41	9,5	21	4,9
3856828	CAMALAU	1962	1991	26	3	8,3	1	2,8	10	2,3	3	0,7
3857044	CABACEIRAS	1926	1991	36	9	12,5	21	29,2	67	7,8	73	8,4
3857471	RIACHO STO. ANTONIO	1962	1991	21	5	13,9	4	11,1	14	3,2	17	3,9
3857534	BARRA DE S. MIGUEL	1962	1991	25	2	5,6	3	8,3	20	4,6	9	2,1
3865397	S. SEBASTIAO DO UMBUZEIRO	1962	1991	18	8	22,2	4	11,1	23	5,3	17	3,9
3866066	STA. MARIA DA PARAIBA	1962	1991	26	3	8,3	1	2,8	10	2,3	7	1,6
3866128	S. JOAO DO TIGRE	1935	1991	45	4	6,3	8	12,7	20	2,6	22	2,9

Percentual de anos preenchidos no grupo: 32,5 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de anos consistidos no grupo: 20,2 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de meses preenchidos no grupo: 14,3 relativo ao número de meses com total mensal.

Percentual de meses consistidos no grupo: 4,8 relativo ao número de meses com total mensal.

Tabela 3.4 - Análise de Consistência das Séries Temporais Pluviométricas do Grupo Vale do Paraíba pelo Método do Vetor Regional (validade: 1912/1991)

POSTO		ANO	ANO	ANOS	ANOS	%	ANOS	%	MESES	%	MESES	%
CÓDIGO	NOME	INICIAL	FINAL	NORMAIS	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.	PREENC.	PREENC.	CONSIS.	CONSIS.
3838055	ARARUNA	1912	1991	65	9	10,5	6	7,0	60	5,8	39	3,8
3838246	CACIMBA DE DENTRO	1962	1991	25	4	11,1	1	2,8	18	4,2	7	1,6
3838526	SALGADO	1962	1991	20	4	11,1	6	16,7	38	8,8	29	6,7
3838575	BANANEIRAS	1930	1991	54	6	8,8	2	2,9	11	1,3	9	1,1
3838675	SERRARIA	1912	1991	26	41	47,7	13	15,1	500	48,4	41	4,0
3838684	VILA MAIA	1962	1991	22	5	13,9	3	8,3	32	7,4	14	3,2
3838962	AREIA	1912	1991	63	16	18,6	1	1,2	130	12,6	3	0,3
3838966	AREIA II	1971	1991	2	19	70,4	0	0,0	222	68,5	0	0,0
3839208	CAICARA	1962	1991	22	7	19,4	1	2,8	15	3,5	10	2,3
3839291	MATARACA	1962	1991	23	7	19,4	0	0,0	60	13,9	0	0,0
3839345	JACARAU	1962	1991	9	13	36,1	8	22,2	103	23,8	51	11,8
3839679	MAMANGUAPE	1912	1991	49	20	23,3	11	12,8	100	9,7	81	7,8
3839704	GUARABIRA	1912	1991	32	40	46,5	8	9,3	339	32,8	54	5,2
3839727	ARACAGI	1962	1991	23	6	16,7	1	2,8	33	7,6	6	1,4
3848145	ALAGOA NOVA	1912	1991	62	10	11,6	8	9,3	45	4,4	46	4,5
3848174	ALAGOA GRANDE	1912	1991	27	47	54,7	6	7,0	447	43,3	32	3,1
3848428	CAMPINA GRANDE	1912	1991	52	22	25,6	6	7,0	193	18,7	35	3,4
3848431	CAMPINA GRANDE	1962	1991	4	26	72,2	0	0,0	287	66,4	0	0,0
3848579	INGA	1912	1991	68	6	7,0	6	7,0	48	4,7	47	4,6
3848741	FAGUNDES	1962	1991	26	4	11,1	0	0,0	10	2,3	0	0,0
3849006	MULUNGU	1926	1991	39	23	31,9	4	5,6	190	22,0	22	2,5
3849232	ACAU	1962	1991	26	3	8,3	1	2,8	14	3,2	0	0,0
3849254	SAPE	1924	1991	61	6	8,1	1	1,4	17	1,9	6	0,7
3849384	CRUZ DO ESPIRITO SANTO	1912	1991	30	43	50,0	7	8,1	401	38,9	37	3,6
3849545	PILAR	1922	1991	31	36	47,4	3	3,9	336	36,8	12	1,3
3849604	MOGEIRO	1962	1991	7	23	63,9	0	0,0	211	48,8	0	0,0
3849636	ITABAIANA	1912	1991	62	15	17,4	3	3,5	98	9,5	15	1,5
3856008	BANANEIRAS	1962	1991	9	12	33,3	9	25,0	49	11,3	35	8,1
3858006	BODOCONGO	1933	1991	42	5	7,7	12	18,5	47	6,0	47	6,0
3858039	LAGOA DOS MARCOS FZ	1962	1991	24	5	13,9	1	2,8	11	2,5	5	1,2
3858065	AROEIRAS	1962	1991	25	3	8,3	2	5,6	9	2,1	8	1,9
3858439	MATA VIRGEM	1962	1991	24	3	8,3	3	8,3	10	2,3	15	3,5
3858467	UMBUZEIRO	1912	1991	52	15	17,4	13	15,1	109	10,6	44	4,3
3940206	STA. RITA	1912	1991	47	29	33,7	4	4,7	203	19,7	21	2,0
3940225	JOAO PESSOA	1912	1991	49	30	34,9	1	1,2	268	26,0	5	0,5
3940226	JOAO PESSOA	1964	1991	7	20	58,8	1	2,9	175	42,9	0	0,0
3940522	VILA DO CONDE	1962	1991	5	25	69,4	0	0,0	247	57,2	0	0,0
3940819	ALHANDRA	1936	1991	38	7	11,3	11	17,7	9	1,2	65	8,7

Percentual de anos preenchidos no grupo: 49,1 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de anos consistidos no grupo: 13,0 relativo ao número de anos com total anual.

Percentual de meses preenchidos no grupo: 27,7 relativo ao número de meses com total mensal.

Percentual de meses consistidos no grupo: 4,6 relativo ao número de meses com total mensal.

Dado o elevado número de postos pluviométricos analisados, resulta pouco prático apresentar o conjunto dos resultados obtidos neste capítulo do relatório. Assim, os resultados são apresentados nos Anexos 1 e 2 sob forma impressa, e a totalidade das informações obtidas durante a análise são apresentadas em mídia magnética.

As informações contidas no Anexo 1 consistem nos diagramas de disponibilidades de dados pluviométricos para todos os postos incluídos na análise e as figuras e tabelas correspondentes aos vetores regionais anuais e mensal para os três grupos estudados.

Face ao grande volume de informações que representam os vetores de coeficientes, tanto a nível anual como mensal, para cada um dos três grupos estudados estes dados foram incluídos em mídia magnética.

Os parâmetros estatísticos das séries pluviométricas consistidas, a nível mensal e anual, são apresentados no Anexo 1.

As curvas simples acumulada do Vetor Regional correspondente a cada grupo, e os desvios de curvas de dupla acumulada para todos os postos consistidos, são apresentadas em mídia magnética. A título de exemplo, no Anexo 2 são apresentadas as curvas simples acumuladas dos três grupo e as curvas de dupla acumulada para alguns postos pluviométricos escolhidos.

Os postos pluviométricos, para os quais são apresentadas em anexo as curvas de dupla acumulada são:

- Cajazeiras (Grupo Piancó - PB);
- Cabaceiras (Grupo Depressão de Patos - PB);
- Bodocongó (Grupo Vale do Paraíba - PB);

Como resultado final do Estudo Pluviométrico Regional foram confeccionados mapas temáticos, contendo as isoietas médias das precipitações anuais e os respectivos coeficientes de variação (CV's). Estes resultados são mostrados nos Mapas 3.2 e 3.3.

Com base nesses mapas é possível desenvolver uma detalhada caracterização do regime pluviométrico na área em estudo, com destaque para os seguintes aspectos:

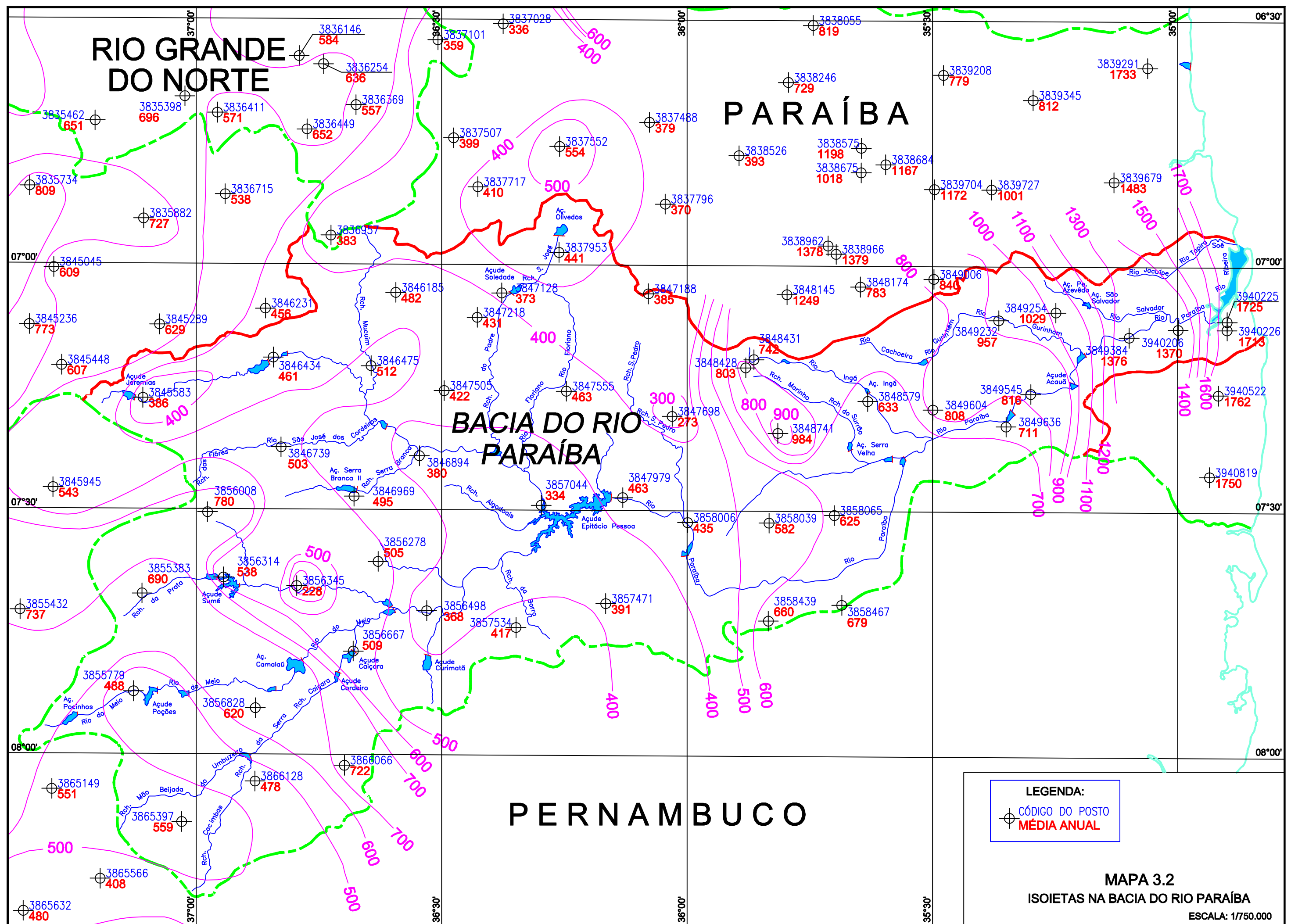
- com exceção da região litorânea e do Brejo paraibano, as médias pluviométricas anuais são inferiores aos 800 mm / ano, o que confere a área em estudo características dominantes de clima semi-árido;
- a área com precipitações menor se localiza na denominada depressão da Borborema, com precipitações anuais inferiores aos 400 mm, devido, principalmente, à sombra pluviométrica causada pela serra da Borborema que obstrui o deslocamento da ZCIT no sentido NO-SO, trata-se da região de menor pluviosidade do Brasil;
- da perspectiva da variabilidade da pluviometria anual, grande parte da área em estudo apresenta valores do coeficiente de variação não inferiores a 0.4, valores considerados elevados e que denotam a forte variabilidade interanual da precipitação na região; destacam-se, por assumir valores diferenciados do coeficiente de variação (CV's) , as seguintes regiões:
- faixa compreendida pela alta sub-bacia do rio Piancó, com coeficientes de variação ligeiramente inferiores aos da região circundante, CV's entre 0.30 e 0.35), e que evidenciam um regime pluviométrico mais regular naquela área;
- região litorânea e Agreste paraibano, com os menores coeficientes de variação da região estudada ( $CV = 0.25$  a  $0.30$ ), que denotam um regime pluviométrico mais regular, associado ao efeito freqüente de penetração de massa de ar úmidas pelo litoral leste do nordeste;
- região de Caicó, localizada na vizinhança do divisor de águas entre as bacia do rio Paraíba e Açu, com postos pluviométricos com coeficientes de variação superiores a 0,50, denotando uma forte influência do relevo local na precipitação média anual.

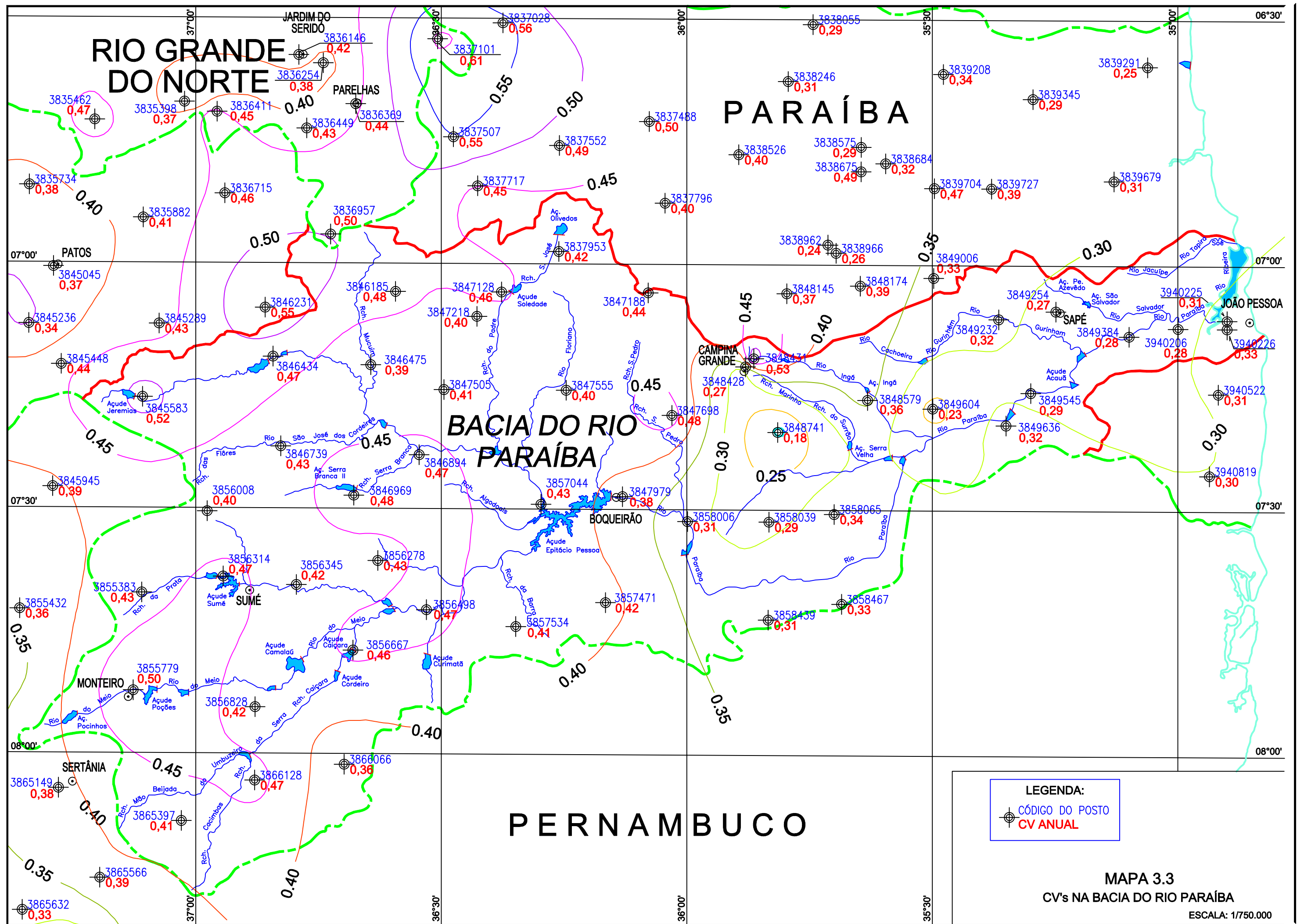
A modo de conclusão geral pode-se afirmar que as características de forte variabilidade espacial e temporal da precipitação, atribuídas à região por estudos anteriores, foram amplamente corroboradas pelo presente estudo pluviométrico

regional, sendo que, na maioria das áreas estudadas foram consideradas, séries de precipitações que superam os 30 anos de registros e, conseqüentemente, podem ser consideradas como “valores médios climatológicos”.

Assim, a principal utilidade desse estudo consiste em dispor de um banco de dados pluviométricos atualizados e consistidos para ser utilizado, posteriormente, na calibração de modelos chuva- deflúvio e na geração de séries fluviométricas pseudo-históricas.







## **CAPÍTULO 4 – ESTUDO FLUVIOMÉTRICO BÁSICO**

---

---

#### **4 – ESTUDO FLUVIOMÉTRICO BÁSICO**

Dado o objetivo deste estudo, qual seja a disponibilizar o maior número de postos fluviométricos com informações confiáveis que permitam, posteriormente, a obtenção de conjuntos de parâmetros do modelo chuva – vazão, susceptíveis de serem aplicados em outras bacias sem informações fluviométricas, as metodologias empregadas consistiram em todo tipo de recurso que permitisse avaliar a consistência da massa de informações fluviométricas disponíveis. Como já foi dito no item relacionado à descrição da rede fluviométrica existente, estas informações são extremamente deficitárias e apresentam um elevado número de postos com pouca, ou nula, utilidade. Assim, o universo de análise foi estendido às bacias vizinhas, incluindo postos fluviométricos da bacia do Piranhas – Piancó, do Mamanguape e de outras bacias litorâneas no estado da Paraíba.

Para a análise de consistência dos dados fluviométricos, apesar das referências bibliográficas admitirem a aplicação do método do Vetor Regional, não existe uma metodologia específica a ser utilizada. Neste caso, levam-se em conta ferramentas computacionais que permitem ao hidrólogo utilizar sua experiência e o seu conhecimento das características regionais para a detecção de erros nos dados fluviométricos.

Face à particularidade de boa correlação entre as vazões escoadas em estações fluviométricas localizadas na mesma bacia hidrográfica, e em alguns casos entre estações de bacias vizinhas, a análise dos dados fluviométricos concentra-se mais em relações físicas entre estações (continuidade de volumes, características do escoamento, etc.) do que em associações puramente estatísticas.

O universo de postos fluviométricos existentes nas áreas de interesse, segundo o Inventário de Estações Fluviométricas do Brasil (DNAEE, 1987), é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Postos Fluviométricos existentes nas áreas de interesse

Bacias (denominação do DNAEE)	Descrição da Área	Área de Interesse da Transposição	Número de Postos Fluviométricos
Bacia 37	Área de drenagem compreendida entre a foz do rio Jaguaribe, exclusive, e a foz do rio Açu, inclusive	Bacia do rio Piancó e Piranhas	36
Bacia 38	Área de drenagem compreendida entre a foz do rio Açu, exclusive, e a foz do rio Paraíba, inclusive	Bacia do rio Paraíba, Mamanguape e outras bacias litorâneas da Paraíba	30

Fonte: DNAEE, 1987

Deste universo de postos fluviométricos um grande número apresenta os seguintes problemas:

- ausência total de dados limnimétricos e fluviométricos. Existem vários postos cadastrados onde o número de observações limnimétricas e fluviométricas é nulo ou insignificante;
- disponibilidade de séries de vazões diárias, sem sua respectiva série de alturas limnimétricas. Este problema, bastante usual, é conseqüência do processo de informatização deficiente dos dados, ocorrido na década de 70. Neste processo séries completas de dados brutos foram extraviadas, após seu tratamento; isto levou a dispor dos dados tratados sem a capacidade de verificar sua consistência devido à completa ausência de dados brutos;
- disponibilidade de curvas chave sem os correspondentes dados de medição de descarga; este problema, que tem causas semelhantes ao anterior, impede também a análise de consistência dos dados tratados;
- ausência total, ou número insuficiente, de medições de descarga para a elaboração de uma curva - chave confiável;
- disponibilidade de curvas - chave muito desatualizadas, isto é, mesmo dispondo de um número aceitável de medições de descarga, estas se concentram num período muito restrito de tempo, não sendo possível extrapolar seus resultados para todo o período em que se dispõe de alturas limnimétricas. Por exemplo, existem vários postos em que, mesmo dispondo de alturas limnimétricas a partir da década de 30, as medições de descarga se restringem ao período posterior a 1974. Nesse ano ocorreu a maior cheia



já registrada e sabe-se que a grande maioria das seções de aforo sofreram mudanças consideráveis, não sendo válidas, fora deste período, as curvas chave confeccionadas com medições de descarga anteriores a essa data.

Uma primeira análise dos dados disponíveis levou a catalogar os mesmos em quatro categorias:

- postos fluviométricos com baixo interesse hidrológico, devido a que sua bacia contribuinte ser controlada por reservatórios de grande ou médio porte, para os quais se desconhece a política de operação implementada historicamente. Estes postos foram diretamente descartados, mesmo em alguns casos se dispondo de dados fluviométricos apropriados, pois suas séries não são úteis para a calibração de modelos chuva - deflúvio;
- postos fluviométricos com interesse hidrológico, porém desprovidos das mínimas condições para serem submetidos a uma análise de consistência, por não disporem de dados ou mesmo pelo alto índice de falhas nas séries existentes. Este tipo de posto foi também descartado;
- postos desativados, mas com períodos de dados disponíveis de interesse para os estudos hidrológicos. É o caso de postos fluviométricos localizados em áreas onde atualmente se encontram grandes reservatórios como Boqueirão de Cabaceiras na Paraíba. Estes postos, mesmo apresentando algum tipo de deficiência de dados, foram estudados;
- postos fluviométricos com disponibilidade de dados e condições de ser submetidos a análise de consistência completa.

Os postos fluviométricos incluídos nas duas últimas categorias e, em consequência, submetidos aos estudos de consistência são apresentados na Tabela 4.2. O Mapa 4.1 apresenta a localização dos postos fluviométricos estudados e suas respectivas bacias hidrográficas.

A análise dos dados fluviométricos consistiu nas seguintes etapas:

- classificação dos postos nas categorias acima descritas e seleção dos que serão posteriormente sujeitos a análise de consistência;

- elaboração de diagramas de barras dos períodos com disponibilidades de dados fluviométricos;
- verificação, para cada posto, da existência de dados de níveis que não tenham sido convertidos em vazões e de medições de descargas não aproveitadas na elaboração das respectivas curvas - chave;
- análise do histórico de cada estação, fornecido pelo DNAEE / ANEEL, para verificação da localização da estação, da descrição do leito fluvial com relação à sua estabilidade, das cotas verdadeiras dos marcos de RN e da relação das medições de vazão;
- avaliação das curvas de descargas existentes e, quando possível, revisão e atualização das mesmas com novos dados de campanhas de medição de vazão;
- avaliação da ocorrência de extrapolações das curvas - chave;

Tabela 4.2 - Postos Fluviométricos Analisados

Estação		Bacia	Curso d'Água	Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )
Código	Nome			
37200000	São José de Piranhas	Piranhas	Piranhas	475
37214000	Eng. Ávidos (Montante)	Piranhas	Piranhas	976
37215000	Eng. Ávidos (Jusante)	Piranhas	Piranhas	976
37230000	São Gonçalo - Açude	Piranhas	Piranhas	1124
37231000	São Gonçalo - Açude Bar. Aux. Jus.	Piranhas	Piranhas	1125
37232000	São Gonçalo - Açude canal p1	Piranhas	Piranhas	1126
37233000	São Gonçalo - Açude canal p2	Piranhas	Piranhas	1127
37234000	São Gonçalo - Açude canal p3	Piranhas	Piranhas	1128
37235000	São Gonçalo - Açude canal p4	Piranhas	Piranhas	1129
37260000	Antenor Navarro	Piranhas	do Peixe	1580
37260001	Antenor Navarro (ex-São João)	Piranhas	do Peixe	1722
37261000	Sousa	Piranhas	do Peixe	-
37290000	Aparecida	Piranhas	do Peixe	2280
37340000	Piancó	Piancó	Piancó	4550
37350000	Malhada dos Bois (Faz.)	Piancó	Rio Jenipapo	1190
37360000	Emas	Piancó	Rch. dos Porcos	530
37363000	Aguiar	Piancó	Rch. Aguiar	495
37366000	Boqueirão Mãe-D'Água (Aç.)	Piancó	Rch. Aguiar	8470
37430000	Patos	Piranhas	Espinharas	-
37440000	Serra Negra do Norte (Faz.)	Piranhas	Espinharas	3330
38000001	Mumbaba	Gramame	Rch. Mumbaba	163
38000002	Mamuaba	Gramame	Mamuaba	121
38750000	Mulungu	Mamanguape	Mamanguape	827
38790000	Ponte de Leitão	Mamanguape	Mamanguape	2961
38810000	Monteiro	Paraíba	Monteiro	300
38850000	Poço de Pedras	Paraíba	Taperoá	3144
38855300	Boqueirão de Cabaceiras	Paraíba	Paraíba	12130
38880000	Guarita	Paraíba	Paraíba	17217
38880001	Guarita (Lauro Miller)	Paraíba	Paraíba	17150
38885000	Pilar	Paraíba	Paraíba	17570
38895000	Ponte da Batalha	Paraíba	Paraíba	19244



#### Mapa 4.1 - Postos fluviométricos estudados

- definição da validade das curvas de descarga, no que diz respeito à alteração de forma da seção fluvial pela passagem de cheias;
- análise dos dados existentes de vazão e, em alguns casos, reprocessamento com base no registro de níveis e novas curvas - chave;
- comparação de fluviogramas diários de estações localizadas no mesmo rio, para verificação de continuidade de volumes e elaboração de curvas de permanência de vazões médias diárias.

As várias metodologias utilizadas permitiram obter, ao serem aplicadas, os seguintes produtos:

- verificação dos dados de vazão coletados;
- obtenção de novos dados a partir dos níveis observados e curvas-chaves reprocessadas com base nas medições de vazão disponíveis;
- verificação da confiabilidade dos dados finais obtidos.

A Tabela 4.3 apresenta a situação de cada um dos postos selecionados quanto à disponibilidade de dados de alturas limnimétricas, vazões médias diárias, medições de descarga, curvas - chaves fornecidas pelo DNAEE/ANEEL.

O Anexo 3 apresenta as seguintes informações, obtidas no contexto dos estudos de consistência de dados fluviométricos:

- resumo de disponibilidades de dados fluviométricos para cada posto analisado;
- cotogramas e pluviogramas médios das bacias contribuintes aos postos fluviométricos analisados;
- curvas - chaves desenvolvidas nestes estudos;
- fluviogramas dos postos analisados;

- fluviogramas superpostos dos postos localizados no mesmo rio e curva de diferenças de volumes escoados para fins de análise de continuidade.
- curvas de permanência de vazões médias diárias para todos os postos fluviométricos com mais de cinco de anos de dados

Em mídia magnética são apresentadas todas as séries de vazões, posteriormente utilizadas.

Tabela 4.3 - Disponibilidade de Dados dos Postos Fluviométricos Selecionados

Estação		Bacia	Disponibilidade de Informações					observações:
Código	Nome		Dados Diários		Medições de Descarga	Curvas-Chaves		
			Alturas Limnimétricas	Vazões Médias		CPRM/DNAEE/ANEEL	Resultado do processamento das medições de vazão	
37200000	São José de Piranhas	Piranhas	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	
37214000	Eng. Ávidos (Montante)	Piranhas	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	
37215000	Eng. Ávidos (Jusante)	Piranhas	disponíveis	não disponíveis	18	não disponíveis	não processada	idem P. F. 37214000
37230000	São Gonçalo - Açude	Piranhas	disponíveis	não disponíveis	7	não disponíveis	não processada	
37231000	São Gonçalo - Açude Bar. Aux. Jus.	Piranhas	não disponíveis	não disponíveis	13	não disponíveis	não processada	idem P.F. 37230000
37232000	São Gonçalo - Açude canal p1	Piranhas	não disponíveis	não disponíveis	40	não disponíveis	não processada	idem P.F. 37230000
37233000	São Gonçalo - Açude canal p2	Piranhas	não disponíveis	não disponíveis	32	não disponíveis	não processada	idem P.F. 37230000
37234000	São Gonçalo - Açude canal p3	Piranhas	não disponíveis	não disponíveis	71	não disponíveis	não processada	idem P.F. 37230000
37235000	São Gonçalo - Açude canal p4	Piranhas	não disponíveis	não disponíveis	23	não disponíveis	não processada	idem P.F. 37230000
37260000	Antenor Navarro	Piranhas	disponíveis	ANEEL	16	não disponíveis	inaceitável	
37260001	Antenor Navarro (ex-São João)	Piranhas	disponíveis	ANEEL	-	não disponíveis	sem dados	idem P.F. 37260000
37261000	Sousa	Piranhas	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	
37290000	Aparecida	Piranhas	disponíveis	calculadas	28	disponíveis	aceitável	
37340000	Piancó	Piancó	disponíveis	calculadas	312	disponíveis	boa	
37350000	Malhada dos Bois (Faz.)	Piancó	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	
37360000	Emas	Piancó	disponíveis	ANEEL	42	disponíveis	inaceitável	
37363000	Aguiar	Piancó	disponíveis	não disponíveis	12	não disponíveis	não processada	
37366000	Boqueirão Mãe-D'Água (Aç.)	Piancó	disponíveis	ANEEL	2	não disponíveis	não processada	
37430000	Patos	Piranhas	disponíveis	ANEEL	36	disponíveis	inaceitável	
37440000	Serra Negra do Norte (Faz.)	Piranhas	disponíveis	ANEEL	106	disponíveis	aceitável	
38000001	Mumbaba	Gramame	não disponíveis	CAGEPA	-	não disponíveis	não processada	Posto da CAGEPA
38000002	Mamuaba	Gramame	não disponíveis	CAGEPA	-	não disponíveis	não processada	Posto da CAGEPA
38750000	Mulungu	Mamanguape	não disponíveis	ANEEL	-	não disponíveis	não processada	
38790000	Ponte de Leitão	Mamanguape	não disponíveis	ANEEL	-	não disponíveis	não processada	
38810000	Monteiro	Paraíba	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	
38850000	Poço de Pedras	Paraíba	não disponíveis	calculadas	165	não disponíveis	boa	
38855300	Boqueirão de Cabaceiras	Paraíba	disponíveis	ANEEL	-	não disponíveis	sem dados	a jusante do Aç. Epitácio Pessoa
38880000	Guarita	Paraíba	disponíveis	ANEEL	148	disponíveis	aceitável	a jusante do Aç. Epitácio Pessoa
38880001	Guarita (Lauro Miller)	Paraíba	disponíveis	ANEEL	-	não disponíveis	sem dados	a jusante do Aç. Epitácio Pessoa
38885000	Pilar	Paraíba	disponíveis	não disponíveis	-	não disponíveis	sem dados	a jusante do Aç. Epitácio Pessoa
38895000	Ponte da Batalha	Paraíba	disponíveis	ANEEL	201	disponíveis	não processada	a jusante do Ac. Epitácio Pessoa

## **CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE OCORRÊNCIA DE SECAS**

---

---

## 5 - ESTUDO DE OCORRÊNCIA DE SECAS

O estudo de secas constante deste capítulo compreende, basicamente, a análise dos resultados obtidos da aplicação de modelos matemáticos de balanço hídrico, visando identificar e caracterizar os períodos em que ocorreram secas.

O enfoque meteorológico e climatológico do fenômeno da seca, e principalmente seu vínculo com os fenômenos climáticos globais, é desenvolvido, de forma separada, no Capítulo 6 deste relatório.

As secas são fenômenos climáticos que se diferenciam claramente de outras catástrofes naturais. A diferença básica reside no fato de que, ao contrário de outros desastres naturais como cheias, furacões e terremotos, os quais iniciam e terminam repentinamente, além de se restringirem, normalmente, a uma pequena região, o fenômeno das secas tem um início lento, uma longa duração e espalha-se, na maioria das vezes, por uma extensa área.

Definir seca é a primeira dificuldade que se enfrenta quando se trabalha com o tema, dado que inexistente uma definição universal para o fenômeno. Uma revisão da literatura sobre o tema mostra que, na realidade, existem diferentes tipos de secas, cujos conceitos estão associados a diferentes pontos de vista. Por exemplo, uma seca no abastecimento de água pode ser pensada como uma deficiência da oferta, em relação às necessidades. Uma seca agrícola pode ser vista como uma insuficiência na umidade do solo a nível do sistema radicular das culturas, impedindo ou reduzindo a produção agrícola. Da perspectiva sócio-econômica, uma seca está relacionada ao campo das atividades humanas afetadas e aos problemas sociais e econômicos gerados. Ademais, claro está, que a ocorrência de uma seca climatológica praticamente implica também na seca agrícola; a recíproca, contudo, pode não ser verdadeira.

Neste sentido, alguns aspectos devem ser levados em consideração quando da análise realística de seca:

- i) o interesse maior da análise (precipitação, vazão ou umidade do solo);

- ii) a escala temporal dos dados a ser empregados (semanal, mensal, semestral ou anual);
- iii) existência de periodicidade ou ciclo definido;
- iv) classificação da seca, de acordo com suas conseqüências, em classes, a saber: climatológica, hidrológica, agrícola e sócio-econômica.

### **5.1 - DESENVOLVIMENTO DE PARÂMETROS INDICADORES DE SECA.**

De acordo com Thomas, apud Campos<sup>3</sup>, uma seca climatológica difere de uma seca agrícola e ambas são distintas de uma seca hidrológica. O autor observa que uma seca meteorológica é, as vezes, definidas como uma prolongada e anormal ausência de chuvas. Já a seca agrícola se configura quando a umidade do solo atinge valores nulos ou muito baixos, de forma a reduzir consideravelmente o rendimento das culturas.

A seca hidrológica pode ser pensada como um período durante o qual as potencialidades hídricas de uma determinada região atingem valores anormalmente menores que os habituais. Assim para a configuração de uma seca hidrológica numa região com rios perenes basta os mesmos atingirem vazões de estiagem anormalmente inferiores às habituais, já para regiões onde os rios são normalmente intermitentes, uma seca hidrológica se configura quando os volumes escoados anualmente são inferiores aos habituais ou nulos, fato este que não depende só do montante precipitado, quanto mais diretamente, da distribuição temporal da precipitação.

Os conceitos apresentados acima tem por objetivo mostrar que o conceito de seca não apresenta uma definição clara e precisa, dependendo tanto do ponto de vista (hidrológico, climático, agrícola, etc.), quanto da região em que se pretende analisar este fenômeno.

---

<sup>3</sup> Campos, J.N.B., 1983 – Um Critério de Seca Agrícola e sua Aplicação ao Estado do Ceará. Boletim Técnico de Recursos Hídricos – UFC.

Nesse sentido, vários pesquisadores buscaram o desenvolvimento de índices que avaliassem a ocorrência das secas sob diferentes contextos e pontos de vista.

Analisando exclusivamente os autores que desenvolveram metodologias desenvolvidas ou aplicadas no nordeste brasileiro, podemos citar os seguintes:

- Hargreaves<sup>4</sup>, que mediante uma análise das precipitações mensais em 234 locais do Ceará, propôs o índice de disponibilidade de umidade (MAI), como parâmetro indicador do potencial de produção agrícola da região;
- Herbst, Bredenkamp e Barker<sup>5</sup>, que propuseram um índice de severidade de seca baseado, exclusivamente, em dados de precipitação;
- Campos e Lima<sup>6</sup>, que definiram o conceito de ciclo máximo anual contínuo de umidade no solo (CMACU) como a duração, em dias, do maior período do ano em que o solo mantém, continuamente, umidade disponível para culturas, determinado a partir do balanço hídrico diário no solo, sendo este parâmetro utilizado para determinar a periodicidade de ocorrência de secas (frequência e tempo de recorrência);
- Tucci<sup>7</sup>, que desenvolveu um algoritmo que relaciona a capacidade de infiltração com a umidade do solo, determinando as quantidades de águas infiltradas e escoadas como decorrentes do processo de subtração da precipitação e;
- Molinas e Andrade<sup>8</sup>, que desenvolveram um modelo de balanço de umidade no solo (MUSAG) e utilizaram este como ferramenta de avaliação e previsão dos déficits hídricos na agricultura para vários locais do Nordeste e, particularmente, para o estado do Ceará.

---

<sup>4</sup> Hargreaves, G.H., 1973. Disponibilidade e Deficiências de Umidades para a produção agrícola no Ceará. Utah State University.

<sup>5</sup> Herbst, P.H.; Bredenkamp, D.B.; Barker, H.M.G., 1966 – A Technique for the evaluation of Drought from Rainfall Data, Journal of Hydrology, Vol.4; p.264 – 272.

<sup>6</sup> Campos, J.N.B.C. e Lima, H.V.C., 1993 - Gerenciamento de Secas no Nordeste do Brasil: Conceitos e Práticas. X Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos – Gramado – RS.

<sup>7</sup> Tucci, C.E.M., 1979. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Algoritmo de Infiltração. III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Brasília – DF.



## 5.2 - CÁLCULO DE INDICADORES DE SECA

Os estudos desenvolvidos no contexto deste relatório basearam-se na metodologia desenvolvida por Molinas e Andrade<sup>6</sup>, para a qual se dispunha de experiência regional na sua aplicação, havendo apresentado bons resultados para uma parcela da área em estudo (o estado do Ceará).

A descrição dessa metodologia e a discussão dos resultados obtidos de sua aplicação são apresentadas a seguir.

## 5.3 - MUSAG

Os déficit's hídricos a nível de parcela do solo são indicadores do que se denomina no Nordeste de seca agrícola. Trata-se de um padrão pluviométrico tal, que devido a sua variabilidade espacial e temporal, reduz consideravelmente a produtividade das culturas de sequeiro ou, nos casos extremos, as inviabiliza.

Uma metodologia para a avaliação da freqüência e severidade com que ocorre este tipo de seca pode ser desenvolvida com base na aplicação de um modelo de umidade do solo do tipo do MUSAG<sup>6</sup> ( modelo e umidade do solo para fins agrícolas).

O modelo de umidade do solo proposto utiliza as seguintes equações com intervalo de tempo diário:

$$US_f = US_i + VI - VP - VEVT$$

$$VESC = Pr - VI$$

onde  $US_f$  (mm.) e  $US_i$  (mm.) são as umidades do solo inicial e final do período em estudo, respectivamente;  $VI$  (mm.) é o volume infiltrado;  $VP$  (mm.) é o volume percolado;  $VEVT$  (mm.) é o volume evapotranspirado;  $VESC$  (mm.) é o volume escoado e  $Pr$  (mm.) é a precipitação ocorrida.

---

<sup>6</sup> Molinas, P. A, Andrade, F.C, 1993 - Modelo de Umidade do Solo para fins Agrícolas, X Simpósio Brasileiro de Recurso Hídricos – Gramado – RS.

Estas variáveis são avaliadas com base nas seguintes funções:

- Função de infiltração (I). - Considera-se que a capacidade de infiltração do solo é uma função das características pedológicas do solo e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante, assim:

$$I = I_0 \quad \text{para } US = 0.$$

$$I = PP + (I_0 - PP)[(CC - US)/CC]^\alpha \quad \text{para } 0 < US < CC$$

$$I = PP \quad \text{para } US \geq CC$$

onde  $I_0$  (mm/dia) é a capacidade de infiltração máxima, função das características do solo;  $CC$  (mm) é a capacidade máxima de retenção de água não gravitacional, na parcela de solo contida no primeiro metro de profundidade;  $PP$  (mm/dia) é a capacidade máxima de percolação profunda, função das características do solo e do subsolo subjacente e  $(\alpha)$  é um parâmetro de ajuste da variabilidade da infiltração com a umidade do solo.

- Função de percolação (P) - Considera-se que a capacidade de percolação profunda do solo é uma função das características pedológicas do solo, do subsolo subjacente e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante; assim:

$$P = 0 \quad US = 0.$$

$$P = PP [US/CC]^\beta \quad 0 < US < CC$$

$$P = PP \quad US \geq CC$$

onde  $(\beta)$  é um parâmetro de ajuste da variabilidade da percolação com a umidade do solo.

- Função de evapotranspiração (EVT) - Considerou-se que a capacidade de evapotranspiração é uma função das condições climáticas, representadas pela evapotranspiração potencial, das características pedológicas do solo e da quantidade de umidade disponível no mesmo num dado instante; assim:

$$\text{EVT} = 0 \quad \text{para } \text{US} = 0.$$

$$\text{EVT} = \text{EVP} [\text{US}/(\text{kCC})]^\gamma \quad \text{para } 0 < \text{US} < \text{kCC}$$

$$\text{EVT} = \text{EVP} \quad \text{para } \text{US} \geq \text{CC}$$

onde EVP é a evapotranspiração potencial (mm./dia), avaliada com base em dados de evaporação de tanques "classe A" ; k é um coeficiente com valores:  $0 < k < 1$  e um parâmetro de ajuste.

O algoritmo do modelo segue uma metodologia semelhante à utilizada no modelo IPH-II<sup>5</sup> [Tucci, 1979]. São identificados diferentes casos de resolução da equação de balanço de umidade do solo, dependendo do estado da função de infiltração e da relação desta com a precipitação ocorrida naquele período (Pr). Estes casos são:

- Caso 1:  $l_i > \text{Pr}$  e  $l_f > \text{Pr}$ . Onde  $l_i$  e  $l_f$  são as capacidades de infiltração no início e fim do intervalo de tempo em estudo. Neste caso, toda a precipitação infiltra. Não ocorre escoamento e não é necessário realizar iterações.
- Caso 2:  $l_i > \text{Pr}$  e  $l_f < \text{Pr}$ . Neste caso, ocorre escoamento, e o cálculo é realizado mediante iterações.
- Caso 3:  $l_i > \text{Pr}$  e  $l_f < \text{Pr}$ , sendo que durante o período ocorrem valores de  $\text{US} > \text{CC}$ . Neste caso ocorre escoamento e o cálculo é realizado mediante iterações, surgindo uma nova dificuldade, decorrente da mudança de função de infiltração devido a saturação do solo durante o período.
- Caso 4:  $l_i < \text{Pr}$  e  $l_f < \text{Pr}$ . Neste caso há escoamento, mas não é necessário realizar iterações.
- Caso 5:  $l_i < \text{Pr}$  e  $l_f < \text{Pr}$ , sendo que durante o período ocorrem valores de  $\text{US} > \text{CC}$ . Neste caso ocorre escoamento e o cálculo não requer iterações, surgindo a mesma dificuldade do caso 3, decorrente da mudança de função de infiltração devido à saturação do solo durante o período.

Com base neste modelo é possível obter séries de umidade do solo disponíveis para cada dia do ano em cada local onde se dispunha de séries de precipitação diária e

indicadores que permitam avaliar os parâmetros do modelo como mapas de solos e mapas geológicos e geomorfológicos.

O processo de calibração deste tipo de modelos é extremamente complexo e demorado, exigindo que sejam avaliados os parâmetros do mesmo para cada posto pluviométrico a ser simulado e, com base nas informações disponíveis sobre o escoamento, como coeficiente de escoamento e coeficiente de variabilidade dos deflúvios, e as características dos solos e subsolo do local, sejam definidos os parâmetros mais apropriados. O Mapa 5.1 apresenta isolinhas do coeficiente de escoamento médio, obtidas com base no modelo MUSAG, após o processo de calibração.

De posse de uma representação precisa da disponibilidade real de umidade no solo, a nível diário, é possível cotejar a mesma com curvas de demanda de diferentes culturas. Neste caso foram utilizadas duas curvas de demanda com ciclos culturais de 60 e 90 dias, semelhantes às demandas das culturas de feijão e milho, respectivamente.

A avaliação de déficit's nas demandas das culturas permite, numa primeira instância, identificar o dia mais apropriado para plantio e, dispondo desta informação, pode-se obter uma série de déficit's hídricos anuais que são posteriormente estudados estatisticamente para avaliar a frequência e magnitude dos mesmos.

A escolha de uma data média de plantio, isto é, uma data para a qual “historicamente” ocorreram os menores déficit's, permite padronizar as séries de déficits que ocorrem em cada posto pluviométrico e conhecer os menores déficits hídricos factíveis de ocorrer em cada local. Os Mapas 5.2 e 5.3 apresentam o zoneamento das datas de plantio escolhidas mediante esta metodologia para cada um dos postos pluviométricos pesquisados para ciclos culturais de 60 e 90 dias respectivamente.

#### **5.4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos mediante a aplicação do modelo Musag são apresentados sob duas diferentes formas. Numa primeira abordagem foram mapeados os déficit's hídricos médios a nível de parcela do solo para dois tipos de culturas ( ciclo de 60 e 90 dias), obtidos com base nas série histórica de precipitações diárias disponíveis para cada posto pluviométrico.

Uma análise destes resultados, apresentados nos Mapas 5.4 a 5.5, mostra a ocorrência de déficits hídricos susceptíveis de prejudicar e, às vezes, inviabilizar as culturas de sequeiro em amplas áreas da bacia do rio Paraíba. Destacam-se como as áreas mais desfavoráveis para a agricultura de sequeiro a região da serra da Borborema, onde torna-se quase impossível a exploração de plantios em regime de sequeiro, mesmo para ciclos culturais curtos (60 dias) como o do feijão.

Na prática, o agricultor sertanejo recorre, freqüentemente, ao replantio. Cada vez que a cultura é dizimada pelo déficit hídrico ou pela incidência de insetos predadores, particularmente a lagarta do feijão, cuja incidência é habitual durante os denominados “veranicos”, o agricultor, aguarda a próxima ocorrência de chuva e planta novamente a cultura. Assim, as atividades agrícolas são prejudicadas tanto pela diminuição da produtividade, decorrente da incidência de insetos daninhos ou do déficit hídrico, como também pelo sobre custo da prática de replantio sucessivo até obter uma “janela” de umidade do solo que permita o desenvolvimento da cultura.

Outra abordagem para apresentação dos resultados obtidos da aplicação do modelo MUSAG consiste em avaliar a freqüência com que ocorrem déficits hídricos capazes de dizimar as culturas e fazer fracassar o plantio. Os Mapas 5.6 e 5.7 apresentam mapeamentos da freqüência com que ocorrem déficits hídricos superiores a 30 % das demandas necessárias para o desenvolvimento de culturas com ciclo de 60 e 90 dias, respectivamente.

Uma análise dos resultados leva às seguintes conclusões:

**a** – as culturas de sequeiro representam uma atividade de alto risco em toda a área estudada, sendo as áreas mais apropriadas para plantio, em ordem de prioridade as seguintes:

- o litoral e o brejo paraibano;
- parte das bacias do rio do Peixe e Piancó;

**b** – a região da Borborema constitui área na qual é inviável manter qualquer prática agrícola de sequeiro, sendo que a freqüência de déficits hídricos supera os 50% dos anos da série histórica.

**c** – as culturas com ciclos culturais superiores a 90 dias não apresentam viabilidade, mesmo nos locais menos vulneráveis às secas como o litoral e brejo paraibano.

Mapa 5.1 - Isolinhas de coeficiente de escoamento médio obtido com o MUSAG

Mapa 5.2 - Data de plantio para cultura com ciclo de 60 dias



### Mapa 5.3 - Data de plantio para cultura com ciclo de 90 dias

#### Mapa 5.4 - Déficits médios para culturas com ciclo vegetativo de 60 dias

Mapa 5.5 - Déficits médios para culturas com ciclo vegetativo de 90 dias

Mapa 5.6 - Frequência de déficits médios de 30% ciclo de 60 dias

Mapa 5.7 - Frequência de déficits médios de 30% ciclo de 60 dias

## **CAPÍTULO 6 – TEMPO E CLIMA NO NORDESTE: O REGIME DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**

---

---

## 6 – TEMPO E CLIMA NO NORDESTE: O REGIME DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

### 6.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo mostra a problemática da variação climática no Nordeste do Brasil (NEB), focalizando no regime das chuvas. Ele tem por objetivo fundamental descrever climaticamente a bacia e analisar os principais fenômenos causadores dos freqüentes déficits hídricos da região.

Para que se possa entender os fenômenos meteorológicos e climáticos de uma região, é necessário se ter disponível não só os dados meteorológicos da própria região mas, também, de pontos distantes do Globo Terrestre. Além disso, é necessário fazer uma distinção entre tempo e clima. O tempo é definido como o conjunto dos fenômenos meteorológicos que ocorrem numa escala de tempo (cronológico) de poucas horas a alguns dias, enquanto que o clima é o estado médio do tempo num período de vários anos (a Organização Meteorológica Mundial – OMM, da ONU, considera um período mínimo de 30 anos).

Um estudo completo do tempo e do clima de qualquer região deve considerar uma descrição espacial e temporal de parâmetros meteorológicos e climáticos como a temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar incidente, albedo, vento, pressão atmosférica, precipitação, evaporação, e outras variáveis à superfície e em altitude, incluindo as variabilidades sazonais e interanuais dos parâmetros.

O presente texto não tem o objetivo de fazer um relato aprofundado de todas as variáveis meteorológicas e climáticas, mas dirigir a atenção para a apresentação do regime pluviométrico da bacia do rio paraíba e áreas vizinhas. Também, se descreve os sistemas que produzem as chuvas no Nordeste do Brasil (NEB) com suas variações interanuais, principalmente, devidas aos dois fenômenos que ocorrem nos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais, o Dipolo do Atlântico e o El Niño/Oscilação do Sul (ENOS). Faz-se uma análise do que aconteceu em termos da precipitação nos mais recentes episódios desses dois fenômenos.

A previsão climática pode ser feita com no máximo 4 meses de antecedência e para um grupo de três a quatro meses. Ela é diferente da previsão do tempo, pois só é válida para uma grande região como o n-NEB (cerca de 500.000 km<sup>2</sup>), podendo variar

muito os parâmetros climáticos, como a precipitação total e a temperatura do ar, tanto no tempo cronológico como no espaço. Dependendo de valores extremos de variáveis atmosféricas e oceânicas, o acerto dessa previsão pode chegar a 90%. É possível que essa previsão climática seja melhorada, no futuro, e se consiga fazê-la para regiões menores e grupos menores de meses. Pode-se, ainda, atualmente, fazer uma tendência climática para grupos de três a até quatro meses, com uma antecedência de seis meses, dependendo da magnitude dos fenômenos envolvidos.

O NEB, localizado entre os paralelos 1 e 18° S e os meridianos 35 e 47° W (Figura 6.1), com uma área aproximada de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, é conhecida como uma região problemática do ponto de vista climático. A precipitação é muito variável e condiciona as atividades sócio-econômicas.

Na maior parte dessa Região, a precipitação é escassa e tem flutuações interanuais muito altas não encontradas em outros lugares da parte oriental das Américas. Essa variabilidade causa secas severas e enchentes em anos diferentes, e algumas secas duram dois anos ou mais. Na área afetada pelas secas, chamada de “Polígono das Secas” (Figura 6.2), a precipitação total média anual é menor do que 800 mm, caindo para 500 mm no interior, com algumas localidades com precipitação da ordem de 300 mm, como é o caso de Cabaceiras na Paraíba. Dentro do Polígono das Secas existem sub-regiões serranas onde a precipitação total média anual ultrapassa os 1.000 mm. No Litoral e Zona da Mata (leste da região, fora do Polígono das Secas), a precipitação chega a mais de 2.000 mm. O regime pluviométrico do NEB contrasta com o regime de chuvas da Amazônia, por exemplo, onde a precipitação é mais regular e onde se localiza a maior floresta tropical do Mundo, com valores pluviométricos anuais acima de 2.500 mm. Além dessa distribuição espacial irregular, o NEB possui alta variabilidade interanual de precipitação (Figura 6.3).

Entretanto, alguns estudos já efetuados no passado e os mais recentes mostram que as duas regiões citadas podem ter regimes complementares, com exceção de alguns períodos históricos onde houve redução significativa de precipitação em ambas as regiões.

O item 6.2 aborda a variabilidade climática em geral e o caso específico do NEB e o chamado “Polígono das Secas”, mostrando as fontes de variabilidade da atmosfera,



os principais sistemas meteorológicos que atuam na Região causando a precipitação. Os métodos de previsão climática são descritos no item 6.3, com considerações sobre os métodos estatísticos, dinâmicos-estatísticos, e os métodos numéricos dos modelos de circulação geral da atmosfera, modelos oceânicos e os modelos oceano - atmosfera acoplados.

Uma estatística dos anos secos e chuvosos no NEB é mostrada no item 6.4. Os fenômenos El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico, descritos no item 6.5, são os responsáveis por grande parte das flutuações da precipitação no n-NEB. Informações sobre esses fenômenos e correlações entre a precipitação no n-NEB e a temperatura da superfície do Mar (TSM), mostradas no item 6.6, indicam que os fenômenos ENOS e o Dipolo do Atlântico são responsáveis por mais de 90% da variabilidade da precipitação observada nessa parte do NEB. Finalmente, os resultados e conclusões são encontrados no item 6.7.

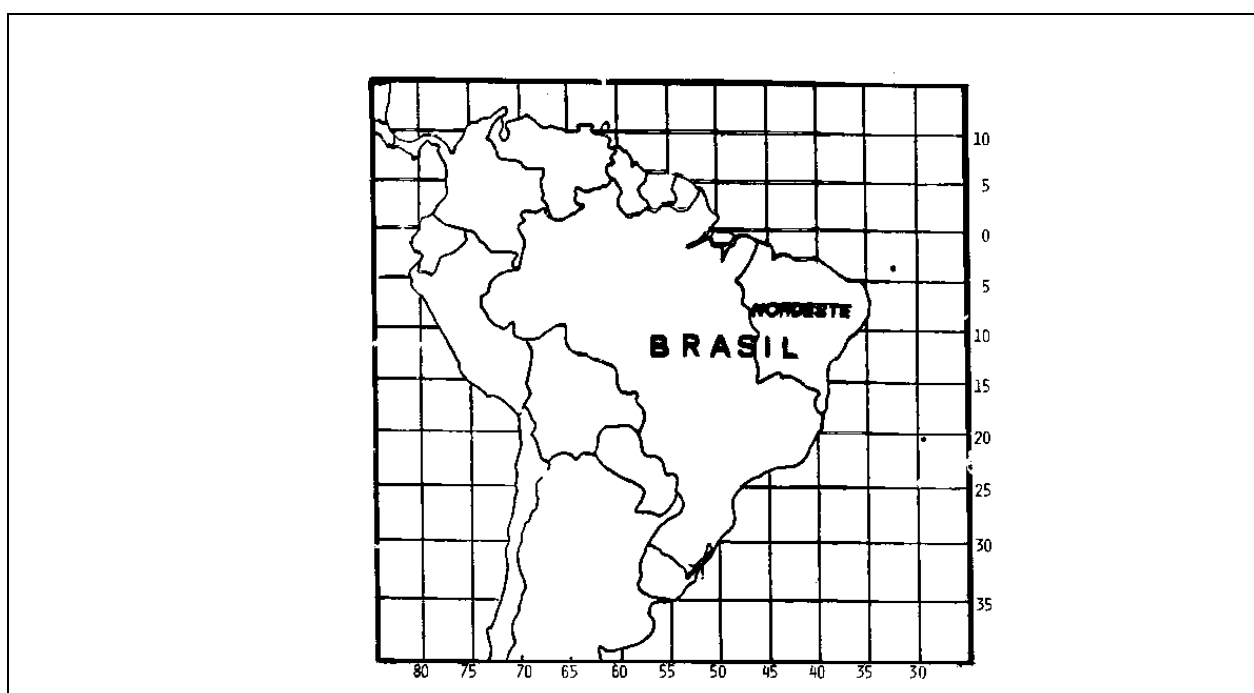


Figura 6.1 – Localização da Região Nordeste do Brasil (NEB) na América do Sul

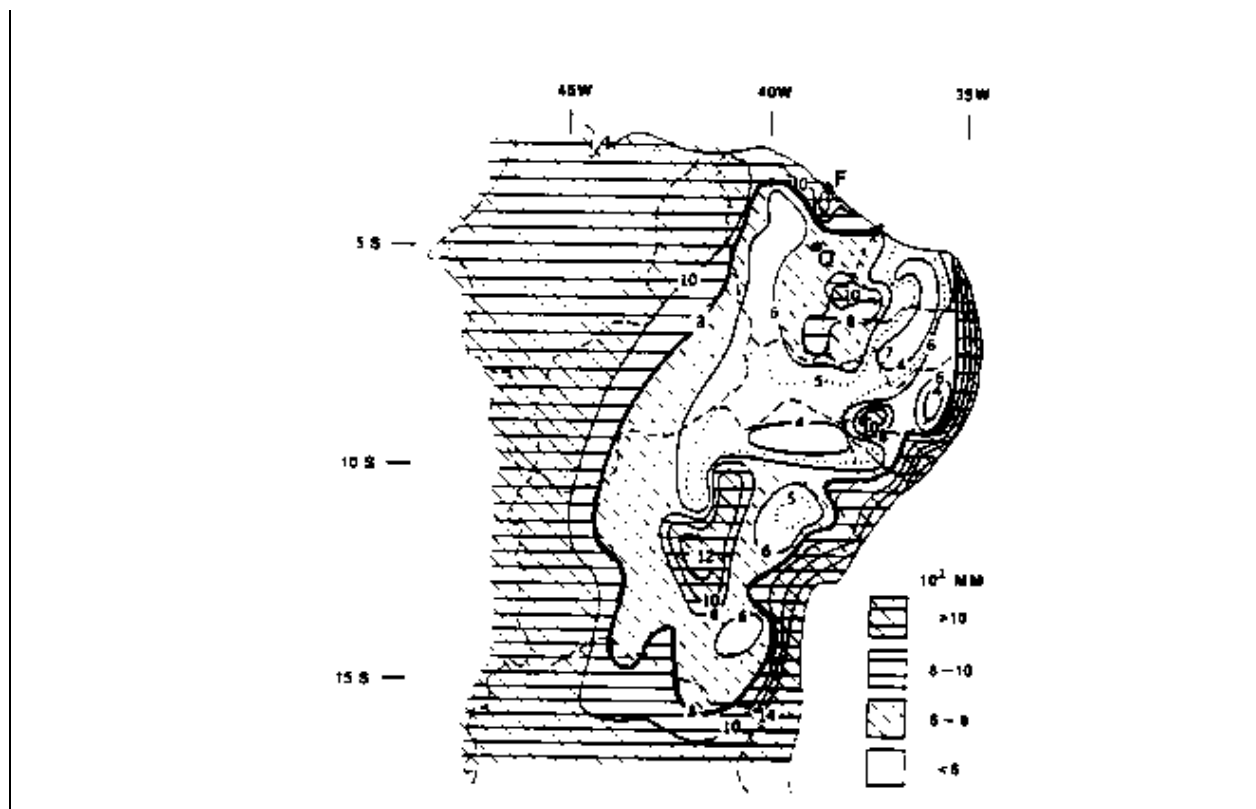


Figura 6.2 – Precipitação total anual média (102 mm) sobre o NEB (segundo Kousky e Chu, 1978). Dentro da linha de 800 mm está o chamado “Polígono das Secas”)

## 6.2 - VARIABILIDADE CLIMÁTICA: O CASO DO NORDESTE DO BRASIL (NEB)

Descrevendo-se a seguir as variações anuais normais (média histórica de longo período) de algumas variáveis meteorológicas no NEB. Evidentemente, em anos anômalos, essas variáveis sofrem maior variação, como é o caso da precipitação, insolação, evaporação, etc..

A média anual da temperatura do ar varia de 22<sup>o</sup> C a 26<sup>o</sup> C. A temperatura mínima média anual varia de 18<sup>o</sup> C a 24<sup>o</sup>C, enquanto a temperatura máxima média se situa na faixa de 26<sup>o</sup> C a 34<sup>o</sup> C. O NEB possui alta insolação com totais anuais de horas de brilho do sol que variam entre 2.200 e 3.200. A radiação solar global média varia de 400 a 500 cal/cm<sup>2</sup>/dia. A evaporação também é muito alta com valores de evaporação potencial variando de 800 a 1.800 mm anuais. A umidade relativa do ar média anual varia de 50% a 90%. Os ventos sopram do quadrante de nordeste a sudeste em praticamente todo o NEB, com uma predominância dos ventos alísios, de nordeste no norte do Maranhão, a sudeste no litoral sul da Bahia.

Em média, a umidade relativa no NEB é moderada (50% a 80%) na camada logo acima da superfície (até 500 metros), mas assume valores altos (80% a 90%) na baixa troposfera. Essa característica da atmosfera sobre o NEB leva a conclusão (Aragão, 1976) que não há deficiência de umidade na baixa troposfera sobre a região, o que era de se esperar, pois os alísios sopram preferencialmente do oceano Atlântico em direção ao continente advectando quantidades elevadas de vapor d'água. Esse fato mostra que a ausência de chuvas em certas épocas, e em alguns anos, é mais ocasionada pela inexistência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes que possam quebrar a forte inversão de temperatura do ar existente durante quase todo o ano (inversão dos alísios), do que propriamente a escassez de vapor d'água. A própria presença da forte inversão dos alísios nos baixos níveis da troposfera, durante os períodos de ausência de precipitação, implica na existência de movimentos descendentes em escala regional. Esse fato é muito importante pois implica que a quantidade de energia e recursos para modificar a atmosfera alcançaria valores muitas vezes mais elevados do que os benefícios sócio-econômicos. Por exemplo, a modificação artificial do tempo com nucleação de nuvens e outras técnicas mais heterodoxas não têm nenhum sentido do ponto de vista econômico.

A atmosfera é uma máquina térmica com circulações causadas basicamente pelas diferenças de temperatura e pressão. Existem várias fontes de variabilidade da atmosfera que serão descritas na seção 6.2.1. Os principais sistemas atmosféricos que atuam no Nordeste do Brasil (NEB) serão detalhados na seção 6.2.2, com algumas características, como seus períodos de atuação, estrutura e frequência, bem como a variação destes em anos anômalos de precipitação.

### 6.2.1 – FONTES DE VARIABILIDADE DA ATMOSFERA

Várias são as fontes de variabilidade da atmosfera. A figura 6.4 mostra as mais importantes. Existe uma dinâmica própria da atmosfera, aqui denominada de dinâmica interna da atmosfera, onde atuam sistemas meteorológicos com diversas escalas espaciais e temporais englobando os sistemas meteorológicos de tempo. As condições de fronteira na superfície da Terra são muito importantes na modulação dos sistemas atmosféricos, variando as estruturas, intensidades e períodos de atuação desses sistemas. Além disso tudo, outros mecanismos que modulam o tempo e o clima são possíveis, como a variabilidade da atividade do Sol, as erupções vulcânicas e a atração gravitacional dos maiores corpos celestes do sistema solar.

Como já foi dito na introdução, o tempo é definido como o conjunto dos fenômenos meteorológicos que ocorrem numa escala de tempo (cronológico) de poucas horas a vários dias, enquanto que o clima é o estado médio do tempo num período de meses a anos. O tempo (“weather” em inglês) se confunde com a dinâmica interna da atmosfera no presente trabalho. Assim, pode-se relacionar os sistemas da dinâmica interna da atmosfera nas seguintes classificações:

1 – Local (metros a  $10^5$  m e de segundos a horas):

- relâmpagos –  $10^3$  a  $10^4$  m – segundos;
- redemoinhos de poeira (“dust devils”) – metros – segundos a poucos minutos;
- tornados e trombas d’água –  $10^2$  a  $10^3$  m – minutos;
- arco-íris –  $10^2$  a  $10^4$  m – minutos;
- nuvens em geral - metros a  $10^4$  m – minutos a horas;
- nuvens orográficas -  $10^3$  a  $10^4$  m – minutos a horas;
- nevoeiros -  $10^3$  a  $10^4$  m – minutos a horas;
- halos –  $10^4$  a  $10^5$  m – minutos a horas;
- conglomerados de cumulus -  $10^3$  a  $10^5$  m – horas;

- linhas locais de instabilidade –  $10^4$  a  $10^5$  m – minutos a horas.

## 2 – Meso-escala ( $10^5$ a $10^6$ m - horas a dias):

- brisas marítima e terrestre –  $10^5$  m – horas;
- complexos convectivos de meso-escala –  $10^5$  a  $10^6$  m - horas a dias;
- linhas de instabilidade de sistemas sinóticos -  $10^5$  a  $10^6$  m - horas a dias.

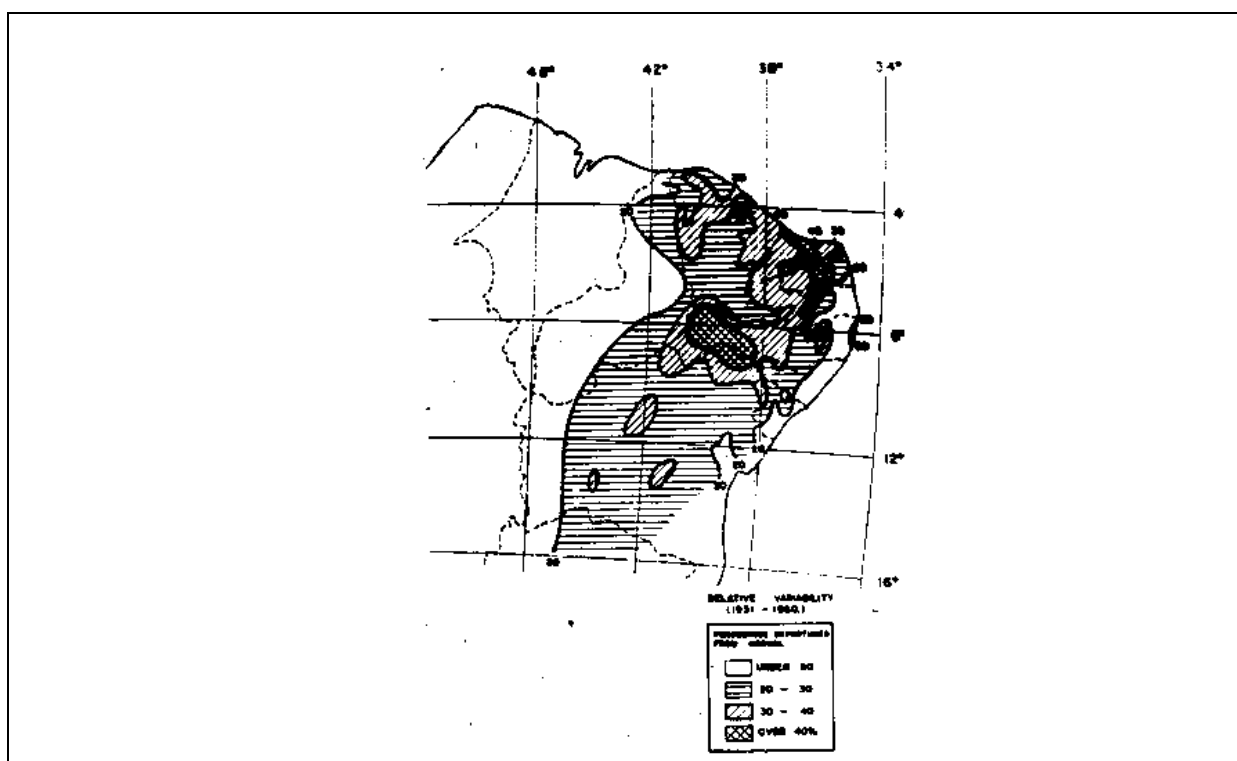


Figura 6.3 – Variabilidade relativa da precipitação sobre o NEB (intervalos de análise de 10%).  
(Segundo Kousky, 1979)

## 3 – Escala sinótica ( $10^6$ m - horas a dias):

- perturbações ondulatórias de leste e ondas de leste -  $10^6$  m - horas a dias;
- furacões e tufões -  $10^6$  m - horas a dias;
- sistemas frontais -  $10^6$  m - horas a dias;
- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) -  $10^6$  m – semi-permanente;
- Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) -  $10^6$  m – semi-permanente;
- Altas Subtropicais dos oceanos (Pacífico Norte e Sul, Atlântico Norte e Sul, Etc.) -  $10^6$  m – permanente.

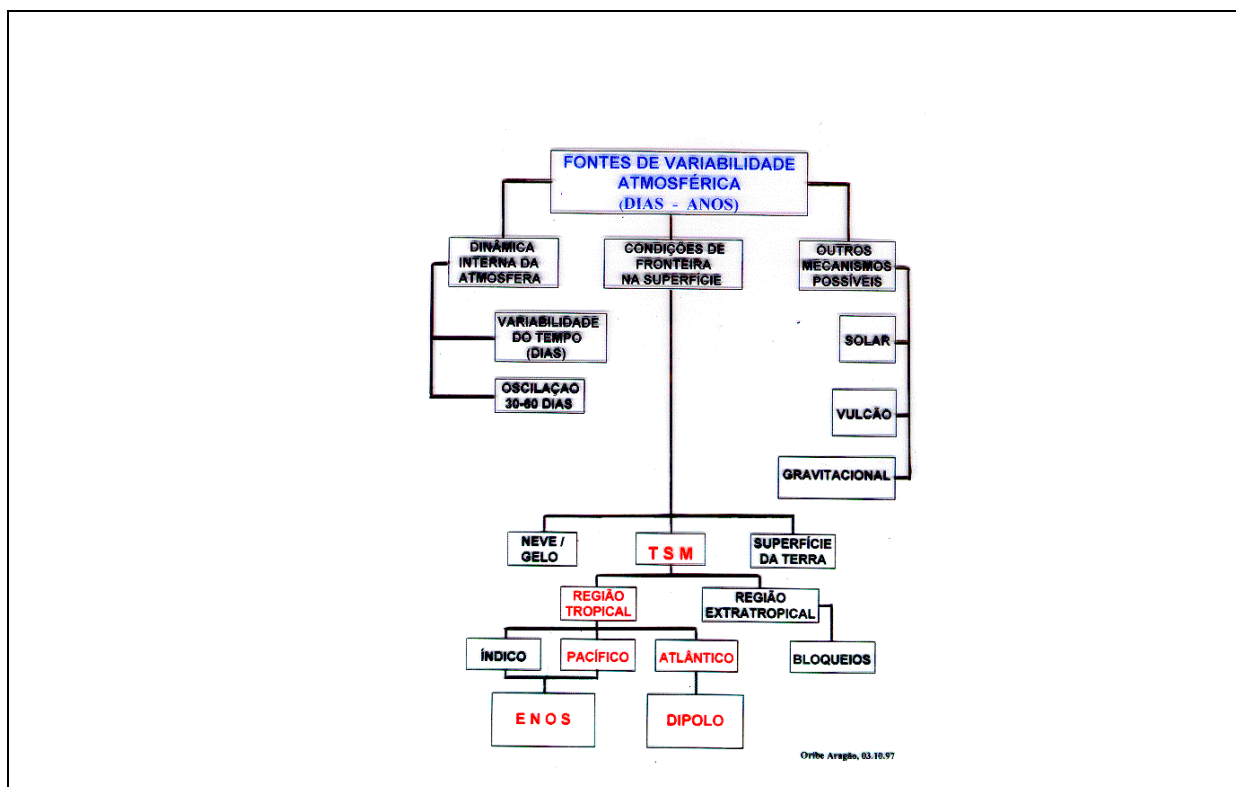


Figura 6.4 – Fontes de variabilidade da atmosfera

4 – Escala planetária ( $10^6$  a maior que  $10^7$  m - meses a sistemas permanentes no tempo):

- oscilação 30-60 dias -  $10^6$  a  $10^7$  m – meses;
- correntes de jato tropicais –  $10^6$  a  $10^7$  m – semi-permanentes;
- correntes de jato de média latitude –  $10^7$  m – permanentes;
- circulações de Walker – maior que  $10^7$  m – permanentes;
- circulações meridionais de Hadley, Ferrel e Polar -  $10^6$  a  $10^7$  m – permanentes;
- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) - maior que  $10^7$  m – permanente.

A modulação de todos esses sistemas é feita através das condições de fronteira da superfície da Terra e dos outros mecanismos já mencionados como o solar (Derbi, 1885; Hull, 1942; Sampaio Ferraz, 1950), o das atividades vulcânicas e o gravitacional (Molion, 1998).

Derbi (1885) sugeriu uma relação entre o mínimo de manchas solares e a seca no NEB. Hull (1942) também estudou a mesma relação usando os dados de precipitação de Fortaleza ( $3^{\circ} 46'S$ ,  $38^{\circ} 31'W$ ) desde 1849, a maior série de precipitação do NEB. Em 1950, Sampaio Ferraz prognosticou uma seca severa no NEB para os anos de 1956 e 1957, baseado num mínimo esperado do ciclo de 11 anos das manchas solares. O que aconteceu foi que, durante esses dois anos, a precipitação foi considerada normal, mas em 1958 o NEB teve provavelmente a mais severa seca deste século. Até o presente, não foram encontradas evidências significativas dessa relação. Provavelmente, as variações sazonais do sistema oceano - atmosfera são defasadas da quantidade de energia solar recebida, e os efeitos só se fazem sentir vários meses após os mínimos e máximos. Outros mecanismos podem, também, interferir nesse processo.

Nas condições de fronteira da superfície, além da neve, do gelo, e da própria superfície dos continentes (incluindo a vegetação), tem-se a temperatura da superfície do mar (TSM) como a grande moduladora da circulação geral da atmosfera através da variabilidade natural dos fenômenos oceano - atmosfera, do tipo do El Niño e Dipolo do Atlântico.

O conhecimento das características de todos os sistemas atmosféricos e as fontes de variabilidade de muitos deles, é necessário para que o meteorologista possa fazer as previsões do tempo e, também, a descrição e previsões do clima. Esses sistemas se comportam de forma diferente, em sub-regiões e anos distintos, variando suas frequências, estruturas e intensidade. Alguns deles só ocorrem em anos específicos, enquanto que outros atuam durante todo os anos.

#### **6.2.2 – PRINCIPAIS SISTEMAS METEOROLÓGICOS QUE ATUAM NO NEB**

Existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que produzem precipitação significativa no NEB: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias, os Distúrbios de Leste, os Ciclones na Média e Alta Troposfera do tipo Baixas Frias (conhecidos como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS), as Brisas Terrestre e Marítima e as Oscilações de 30-60 dias. Esse fenômenos atuam em sub-regiões distintas e, também, se superpõem em algumas sub-

regiões, nas mesmas épocas ou em épocas diferentes. Alguns desses sistemas são influenciados pelo albedo e orografia. A figura 6.5 mostra as regiões preferenciais onde atuam os três principais sistemas que provocam as chuvas no NEB, a ZCIT, as frentes frias e as perturbações/ondas de leste. Evidentemente, as áreas delimitadas representam uma média de longo período, e os sistemas envolvidos modificam seus deslocamentos e trajetórias dependendo do ano. Os VCAS são transientes, variam muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar, embora possam modificar o tempo em todo o NEB. As Oscilações de 30-60 dias não são muito comuns. As brisas ocorrem na faixa costeira de todo o NEB, em quase todos os meses do ano, e seus efeitos podem ser sentidos até 400 Km dentro do continente. A seguir, serão descritas as principais características de cada um desses sistemas.

#### **6.2.2.1 - ZCIT**

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

A influência da ZCIT na precipitação do NEB tem sido estudada por vários autores dentre os quais Serra (1941) e Hastenrath e Heller (1977).

A ZCIT é o principal sistema de produção de chuvas no n-NEB. Sua atuação no n-NEB se dá, principalmente, nos meses de março e abril, e, em muitos anos, está presente nos meses de fevereiro e maio. A figura 6.6 mostra esse sistema com uma inclinação bastante favorável às chuvas na região. Por outro lado, em anos nos quais a ZCIT não se apresenta sobre a região, nos meses de março ou abril, todos os estados sofrem com a redução de chuvas, principalmente o semi-árido do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.



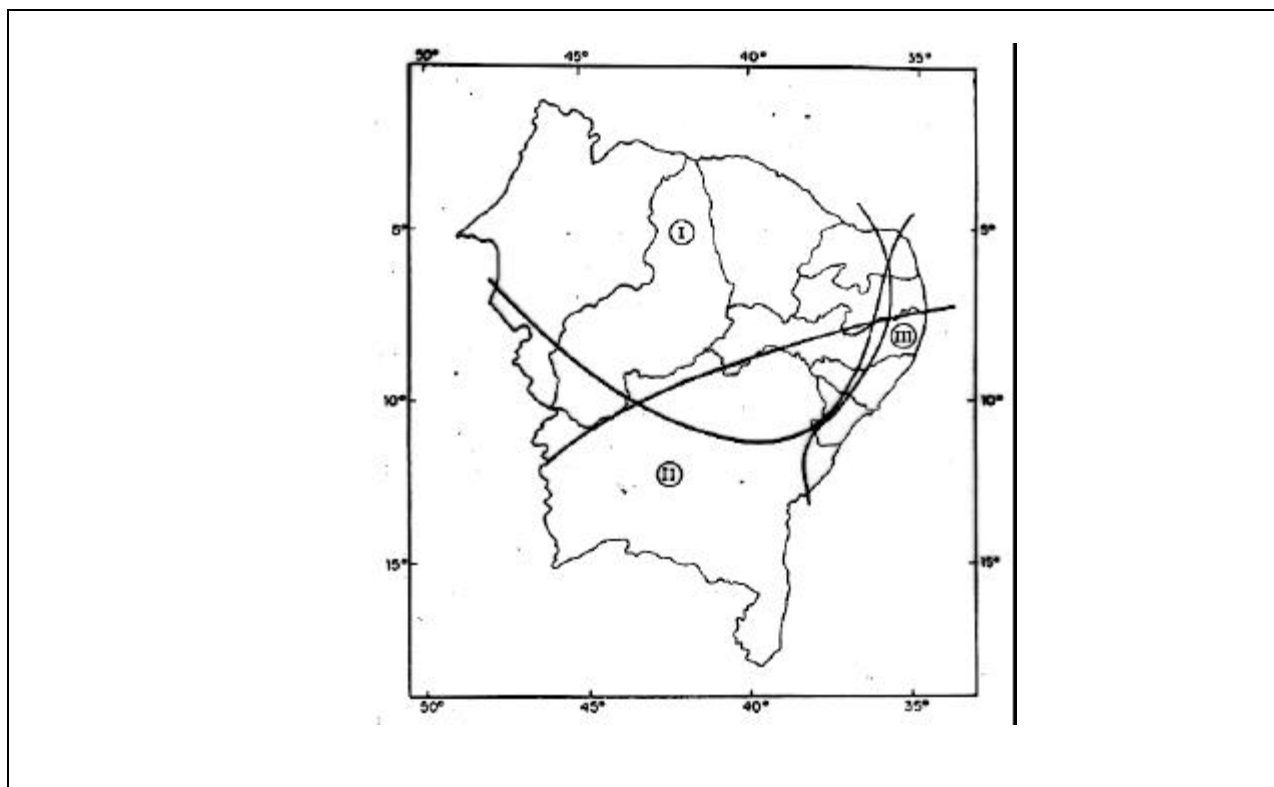


Figura 6.5 – Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I – ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste

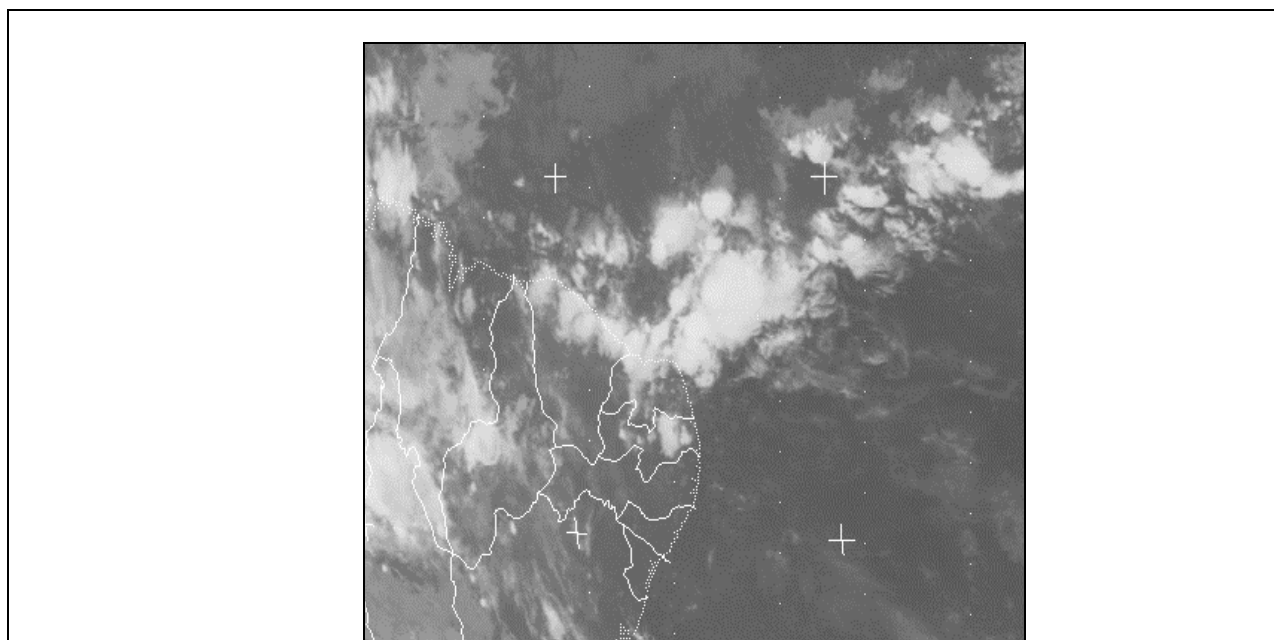


Figura 6.6 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa do posicionamento da ZCIT, em 15/03/94 às 15:00 h

Esse sistema atmosférico, em geral, atua sobre uma região qualquer por um período de tempo superior a dois meses, ou seja, é um fenômeno tipicamente climático, com uma escala de tempo sazonal. Seu eixo varia no sentido norte-sul,

durante o ano, e sua intensidade depende da circulação geral da atmosfera bem como do aquecimento da superfície. Esse eixo acompanha o deslocamento aparente do Sol com um atraso de aproximadamente dois meses, em média. Na faixa do Atlântico/América do Sul, sua posição mais ao norte se dá em agosto-setembro quando alcança  $15^{\circ}$  N, e sua posição mais ao sul acontece em março-abril quando chega a  $2^{\circ}$  S. Essas posições podem variar de cerca de  $3^{\circ}$  a  $4^{\circ}$  graus de latitude para norte ou para sul em alguns anos. Essa variação na posição do eixo médio da ZCIT está associada com a ocorrência de secas (posição mais ao norte) e chuvas acima da média (posição mais ao sul) (Caviedes, 1972).

A localização futura da ZCIT pode ser prevista com alguns meses de antecedência a partir de características da TSM, dentre outras. Contudo, as chuvas intensas ocorridas em algumas áreas sob a influência da ZCIT, geralmente, só são previstas com poucas horas de antecedência, e a melhoria da previsão desses sistemas depende de informações de altitude e de radar meteorológico.

#### 6.2.2.2 – FRENTES FRIAS

A penetração, no NEB, de frentes frias provenientes de regiões sub-antárticas, adentrando o Brasil, ou instabilidades causadas pelo avanço desses sistemas constitui o segundo principal mecanismo da produção de chuvas no NEB, e o principal para o Sul e Sudeste do Brasil, Minas Gerais e sul da Bahia. Esse mecanismo foi reconhecido por Serra (1941) e bem documentado por Kousky (1979). A frequência desses sistemas é de aproximadamente um a cada cinco dias no Sul e Sudeste do Brasil. Mas, somente alguns desses sistemas, ou parte deles, penetram mais ao norte (Kousky e Virji, 1982). Dessa maneira, são poucos os sistemas que influenciam o NEB produzindo chuvas na parte central, norte e leste da região, durante todo o ano, e eles não possuem o gradiente térmico característico da região Sul e Sudeste do Brasil.

As bandas de nebulosidade associadas aos sistemas frontais que penetram no NEB são na verdade remanescentes de frentes frias que avançam sobre o sul da região, nos meses de dezembro a fevereiro. As frentes frias penetram na região (Figura 6.7), em poucos casos. Na sub-região leste do NEB, Agreste/Zona da Mata/Litoral ( $5^{\circ}$  N a  $18^{\circ}$  S), esses sistemas podem influenciar na precipitação nos meses de maio a

agosto, em alguns casos interagindo com outros sistemas meteorológicos. Essa sub-região recebe o máximo de precipitação no período de maio a julho, justamente durante o início do inverno do Hemisfério Sul, época em que as frentes frias são mais intensas.

As frentes frias são sistemas de características baroclínicas e suas estruturas gerais são detectadas nos modelos de análise e previsão do tempo dos diversos centros meteorológicos, nacionais ou internacionais. Esses modelos, normalmente, estão disponíveis na Internet. Porém, as características de meso-escala associadas a esses sistemas, tipo Linhas de Instabilidades (LIs) e Complexos Convectivos (CC) são melhor observadas com o auxílio de redes de estações meteorológicas de superfície, por meio de dados de radiossondagem e pelas informações de radar meteorológico de modelos de meso-escala. Esses sistemas podem ser previstos através de modelos de meso-escala.

#### **6.2.2.3 - PERTURBAÇÕES DE LESTE E ONDAS DE LESTE**

Em geral, as perturbações de leste e as ondas de leste (Figura 6.8) são perturbações de pequena amplitude observadas nos campos de vento e pressão à superfície, atuantes no leste do NEB, desde o Rio Grande do Norte até a Bahia ( $5^{\circ}$  a  $13^{\circ}$  S), no período de maio a agosto. Perturbações são todos os conglomerados de nuvens, enquanto que as ondas de leste são aquelas perturbações com características de instabilidade no campo do vento e da TSM. O deslocamento dessas ondas, associadas a conglomerados convectivos, se dá de leste para oeste a partir do oceano Atlântico até atingirem o litoral oriental da região, daí advindo sua denominação.

As ondas de leste são muito freqüentes em alguns anos, e a intensidade e freqüência dessas ondas depende da temperatura da superfície do mar (TSM), do cisalhamento meridional do vento (Lipps, 1970), e da circulação troposférica no Atlântico tropical. A velocidade média de propagação é de 1.100 Km por dia (Yamazaki e Rao, 1977). A intensidade dessas perturbações é melhor verificada no nível de 700 hPa (cerca de 3 Km de altitude) (Mota e Gandu, 1998a,b).

Apesar da sua pequena amplitude, as ondas de leste podem produzir chuvas intensas e inundações, particularmente em áreas costeiras, e podem penetrar até 400 Km dentro do continente. A aproximação de conglomerados de nuvens associados a perturbações de leste na costa do NEB pode ser observada através de imagens de satélites, sem contudo haver possibilidade de obterem-se informações sobre a quantidade de água precipitável. Devido à sua pequena amplitude, as ondas de leste, entretanto, são muito melhor observadas em campos do vento de meso-escala e em imagens de radar meteorológico. As imagens de radar podem informar, inclusive, as quantidades de água precipitável.

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

#### **6.2.2.4 - VÓRTICES CICLÔNICOS DA ATMOSFERA SUPERIOR (VCAS)**

Os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera ou Vórtices Ciclônicos da Atmosfera Superior (VCAS), também conhecidos como baixas frias, atuam sobre o NEB e outras regiões do Brasil, incluindo Minas Gerais (Figura 6.9), preferencialmente, nos meses de novembro a fevereiro. A atuação dos VCAS ocorre de forma muito irregular já que estes sistemas, na dependência de seu posicionamento, podem produzir tanto chuvas intensas como estiagens em qualquer área do NEB ou até mesmo em toda a região. Os VCAS variam muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar. As chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade que circundam o seu centro, enquanto que, neste centro, o movimento subsidente inibe a formação de nuvens. Esses sistemas podem permanecer atuando durante semanas. Caso o seu tempo de vida oscile de uma a três semanas, os períodos de estiagens nas áreas abaixo do seu centro são denominados veranicos, prejudicando as atividades agro-pecuárias.

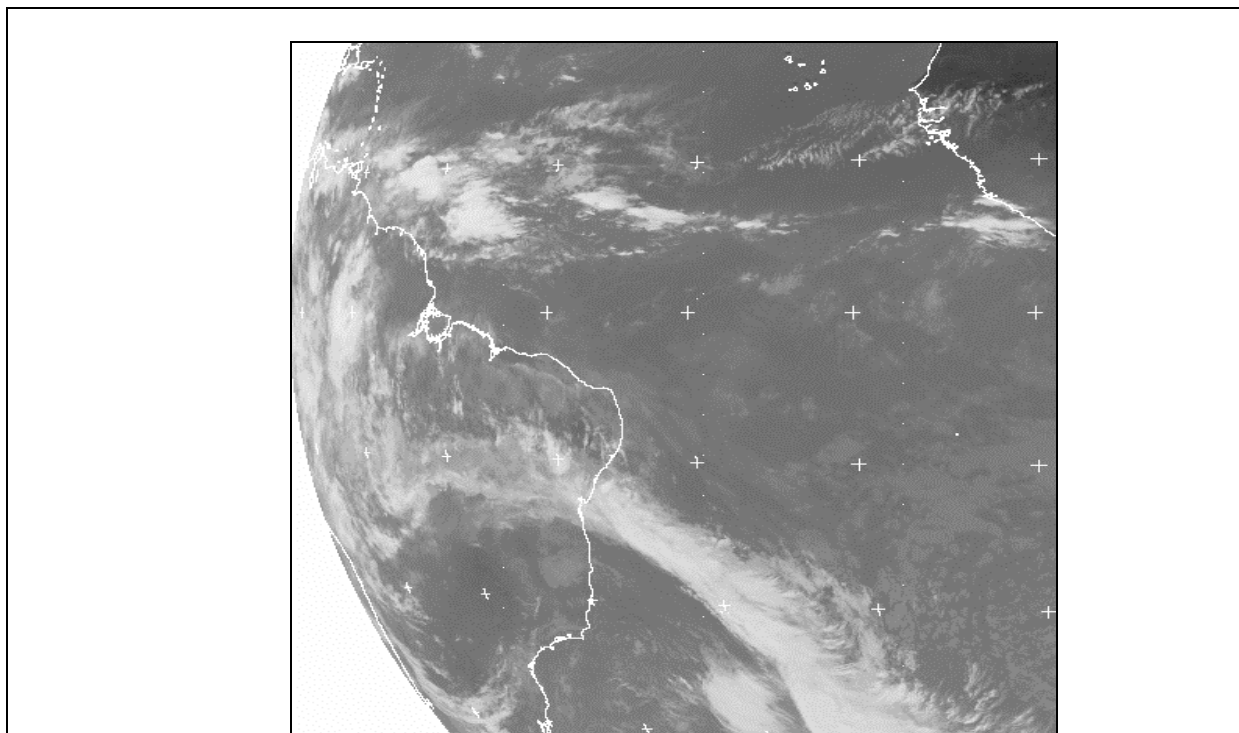


Figura 6.7 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa do posicionamento de uma frente fria, em 21/11/95 às 09:30 h

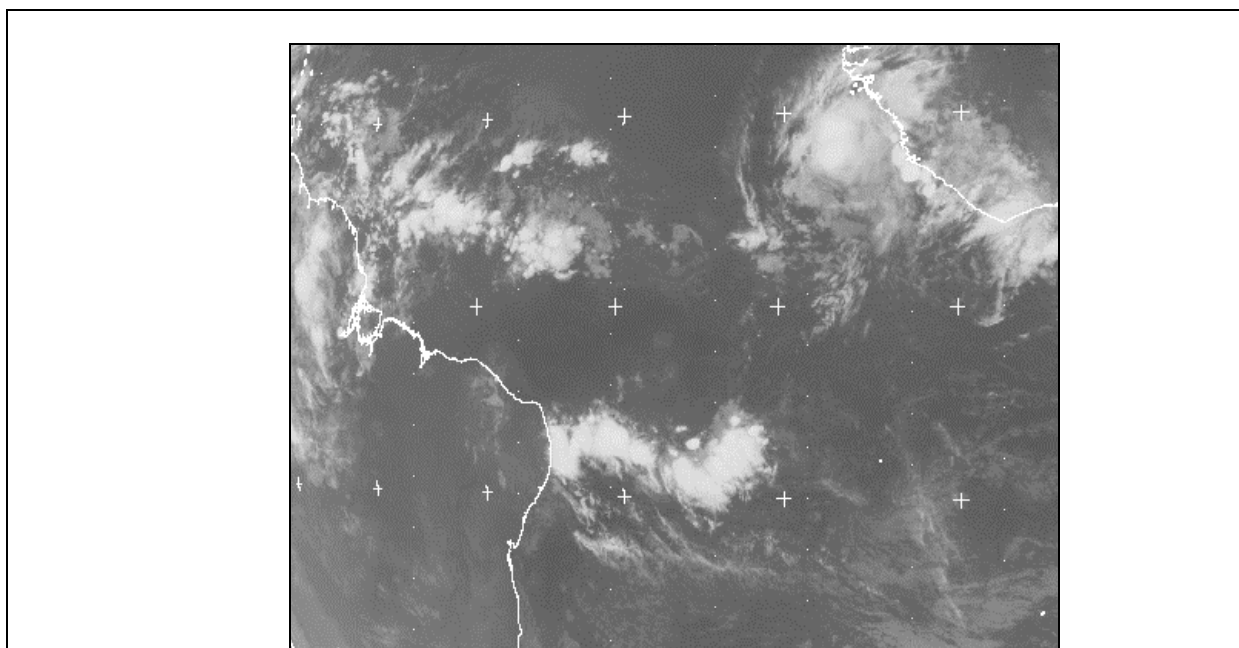


Figura 6.8 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, indicativa da aproximação de uma onda de leste no NEB, em 02/06/94 às 03:00 h

Foi Dean, em 1971, quem primeiro constatou a presença desses vórtices sobre o NEB em cartas médias mensais dos níveis de 300 e 200 hpa (9 e 12 Km de altitude, aproximadamente). Aragão (1976) detectou um desses vórtices em cartas sinóticas em alguns dias de janeiro de 1970. Virji (1981), Kousky e Gan (1981), Gan (1983) também estudaram as características dos VCAS.

O aparecimento desses vórtices está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a Alta da Bolívia, com a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a penetração de frentes frias do sul. A denominação “baixa fria” se deve ao fato de que a temperatura do ar no centro do vórtice ser mais baixa do que na área que o circunda. O centro do vórtice apresenta movimento vertical descendente o que justifica o ar mais frio e a quase ausência de precipitação na área logo abaixo dele. As regiões periféricas ao centro do vórtice apresentam movimentos verticais ascendentes com chuvas advindas, principalmente, de nuvens convectivas. No período da tarde, chuvas do tipo pancadas, de nuvens convectivas, podem ocorrer no centro do vórtice devido ao grande aquecimento das áreas localizadas abaixo dele.

Muitas vezes, VCAS aparecem nos altos níveis da troposfera, lá permanecendo sem causarem precipitação significativa. As chuvas iniciam quando os vórtices se estendem de pelo menos 300 hpa (9 Km, aproximadamente) até 700 hpa (3 Km, aproximadamente). Na maioria dos casos, o ramo ascendente oeste é o que produz mais precipitação no NEB, pelo fato de que os ramos ascendentes norte e leste se situam, preferencialmente, sobre o oceano.

Os VCAS podem permanecer sem movimento aparente por vários dias até desaparecerem, normalmente quando se movem para sudoeste, adentrando o continente.

A frequência desses sistemas tem uma grande dependência na variabilidade interanual da atmosfera e eles são mais constantes em anos de ocorrência de episódios do fenômeno de El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) (Harzallah et alli., 1986).



#### 6.2.2.5 - BRISAS

As brisas são a parte superficial de uma circulação térmica causada pelo aquecimento diferencial dos oceanos e da superfície sólida da Terra. O ar sobe sobre as áreas mais aquecidas elevando o ar úmido que condensa, forma as nuvens e produz as chuvas. O ar desce nas áreas mais frias. Por continuidade, o vento superficial sopra das áreas mais frias (onde a pressão atmosférica é maior) para as mais quentes (pressão menor), completando a circulação. A brisa é chamada terrestre quando o vento superficial associado sopra da terra (superfície sólida) para o mar, e marítima quando ocorre do mar para a terra. A brisa terrestre acontece de noite pois a terra se resfria mais rápido do que a água, e a marítima ocorre durante o dia devido o aquecimento solar maior da terra com relação à água. Um fator importante na modulação das brisas na região tropical é a atuação dos ventos alísios que sopram, preferencialmente do quadrante nordeste-sudeste.

Os sistemas de brisa são observadas no Litoral e Zona da Mata do NEB, durante todo ano. Entretanto, são observadas com maior definição nos meses de outono e inverno, principalmente quando da atuação de sistemas meteorológicos que ocorrem nesta época do ano. Em geral, produzem chuvas de intensidade fraca a moderada.

Em 1980, Kousky mostrou que mais do que 50% da precipitação das áreas costeiras cai à noite. Ele associou essa precipitação com a brisa terrestre. Evidentemente, a convergência causada pela brisa terrestre e os alísios de nordeste-sudeste, juntamente com o grau de instabilidade da atmosfera, é muito importante para a precipitação noturna.

As áreas afastadas da costa entre 100 e 300 Km têm um máximo diurno associado com a brisa marítima. A brisa marítima é máxima quando existe um contraste máximo entre a TSM e a temperatura da terra. Isso ocorre no final do outono e no início do inverno (maio, junho e julho). No caso da brisa marítima, não existe convergência causada pela brisa e os alísios de nordeste-sudeste, pois os ventos dos dois sistemas sopram quase que paralelos. Nesse caso, um fator importante é a modulação da precipitação pela orografia.

#### **6.2.2.6 – OSCILAÇÃO DE 30-60 DIAS**

As oscilações de 30-60 dias são pulsos de energia que se movem de oeste para leste, na faixa equatorial (Madden e Julian, 1971). Sobre o Nordeste do Brasil sua atuação ainda não é bem conhecida. Sabe-se que esses sistemas atuam por períodos de 10 a 30 dias com falta de chuvas na sua fase positiva, e chuvas na sua fase negativa. Esse tipo de atuação pode produzir veranicos prolongados, prejudicando a agricultura e a pecuária, mas também pode vir a beneficiá-las com chuvas de alguma intensidade naqueles anos que são considerados secos.

#### **6.2.2.7 – FENÔMENOS “EL NIÑO” E DIPLO DO ATLÂNTICO**

Considerando outros fenômenos meteorológicos em escala planetária, deve-se mencionar o fenômeno ENOS e o fenômeno do Dipolo do Atlântico que interferem na ocorrência de chuvas sobre o NEB. O fenômeno ENOS, episódio quente, consiste basicamente de um aquecimento anômalo do Oceano Pacífico Equatorial, em conjunto com variações do campo de pressão ao nível do mar na região tropical. Embora, a existência do fenômeno El Niño (como ficou sendo chamada a fase quente do fenômeno ENOS) não implique necessariamente em ocorrência de secas sobre o NEB, sabe-se que sua atividade moderada a muito intensa pode provocar condições de seca moderada a severa sobre o semi-árido nordestino (Aragão, 1986), a exemplo do que aconteceu em 1982/83 e 1997/98. No item 6.2 são descritos os impactos dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico na agropecuária do NEB.

#### **6.2.2.8 - SOBRE AS PREVISÕES DO TEMPO**

As previsões de tempo e de variações climáticas representam uma nova e extraordinária ferramenta para o desenvolvimento sustentável, à medida em que ensejarão melhorias substanciais no manejo dos recursos naturais e, conseqüentemente, na qualidade de vida para as populações das regiões mais vulneráveis aos impactos da variabilidade climática, como é o caso do NEB.

A previsão da evolução dos sistemas meteorológicos (previsão do tempo) nas regiões tropicais é feita atualmente para 24 horas com um acerto de cerca de 85 a



90%, e é válida para uma área do tamanho de uma região metropolitana como a do Recife. Essa previsão é para parâmetros atmosféricos como os ventos, a precipitação pluviométrica, pressão à superfície, temperatura do ar, insolação, umidade relativa, etc.. Também, é possível fazer uma tendência do tempo para 72 horas mas o acerto só chega, no máximo, a 65% nas regiões tropicais, devido à grande variabilidade dos sistemas atmosféricos.

### **6.3 – MÉTODOS DE PREVISÃO CLIMÁTICA**

A previsão climática difere da previsão do tempo porque, primeiro, não é ainda possível fazer uma previsão localizada e, sim, para uma grande área como o n-NEB, o Sul do Brasil, etc.. Segundo, não é possível fazer uma previsão para um mês isolado e, sim, para um conjunto de meses (três a quatro meses no futuro). Essas limitações se devem a variabilidade das características dos sistemas atmosféricos como suas estruturas, frequências e intensidades, nos diferentes anos. Hoje, é possível um acerto de 90% na precipitação do n-NEB, para a quadra chuvosa de fevereiro a maio, durante alguns anos, como nos casos de eventos de El Niño fortes, dependendo da evolução desses episódios nos meses de dezembro a janeiro que antecedem a quadra chuvosa.

Existem, pelo menos, três classes de métodos para a previsão climática: os estatísticos, os dinâmico-estatísticos e os numéricos (Nobre, 1995). Os estatísticos utilizam as características estatísticas das séries temporais dos parâmetros atmosféricos para prever tendências das variações desses parâmetros com vários anos de antecedência. Os dinâmico-estatísticos usam técnicas estatísticas e modelos conceituais da interação entre o oceano e a atmosfera. Os numéricos usam integrações temporais das equações do movimento no oceano e na atmosfera em vários níveis.

#### **6.3.1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS**

Os métodos estatísticos são baseados em aparentes periodicidades nas séries temporais dos parâmetros atmosféricos (Markham, 1974; Strang, 1979; Xavier e Xavier, 1987; Xavier e Xavier, 1989). As tendências climáticas são feitas extrapolando-se tais periodicidades para o futuro.

Estudos estatísticos têm sido feitos usando as séries de dados de precipitação de Fortaleza, Ceará. Markham (1974) encontrou tendências para oscilações de 26

anos, 13 anos, 4,7 anos, 3,8 anos e 26 meses, usando totais mensais de precipitação de 1849 a 1971. Seguindo essa idéia, Strang (1979) também encontrou tendências, na mesma série de dados (1849-1977), para oscilações de 26 anos, 13 anos e 26 meses.

Como resultado desses estudos puramente estatísticos, uma “previsão climática” foi feita por Strang e colaboradores em 1979, quando divulgaram que o NEB iria passar por cinco anos de secas. A previsão foi duramente criticada por outros cientistas que diziam não haver uma base científica sólida para tal previsão por não levar em conta a dinâmica da atmosfera. Strang (1979) fez uma extrapolação climatológica desses ciclos para encontrar tendências na precipitação. Na verdade, ele “prognosticou” dois períodos prováveis de secas: um de 1980 a 1984 e outro de 1993 a 1997. Segundo ele, ambos os períodos correspondem a um conjunto de anos secos, ajustando-se a série a um mínimo de precipitação no período de 13 anos, sendo que o primeiro conjunto de anos corresponde, também, ao mínimo do período de 26 anos. De fato, de 1979 até 1983, o NEB teve seu período chuvoso com precipitação abaixo da normal, com o ano de 1983 apresentando um regime extremamente seco. No entanto, os anos 1980 e 1981 foram considerados normais e o ano de 1984 foi chuvoso. No ano de 1983, a seca cobriu uma área de 1,4 milhões de quilômetros quadrados, afetando 21 milhões de pessoas, metade da população da região. 1993 foi também um ano seco e correspondeu ao final de um episódio de ENOS prolongado. Em 1997 (14 anos após 1983), teve início um evento ENOS muito forte e a seca se estendeu a vários estados do NEB, em 1998, sendo considerada uma das mais severas deste século.

Na realidade não se pode utilizar somente as séries estatísticas para fazer previsões climáticas, pois fazendo assim seria assumir que a série é estacionária. A figura 6.10 representa as anomalias da precipitação observada no norte do Nordeste do Brasil (n-NEB) (média de 67 estações) de 1914 a 1989 (média dos meses de fevereiro, março, abril e maio, em mm/mês), com a média móvel de cinco anos. Verifica-se que os picos máximos e mínimos não acontecem no mesmo espaço de tempo. O máximo que se pode fazer é assumir uma tendência de anos secos e chuvosos, sabendo que se poderá errar em dois ou três anos do início ao final dos anos anômalos e que, dentre o período de anos anômalos, poder-se-á ter anos normais ou anômalos na outra direção.

### 6.3.2 - MÉTODOS DINÂMICO-ESTATÍSTICOS

Os modelos dinâmico-estatísticos usam técnicas estatísticas e conceitos físicos da interação entre o oceano e a atmosfera, a partir do conhecimento da dinâmica desses dois fluidos e do conceito de teleconexões que significa que um fenômeno qualquer está relacionado com outro em regiões distantes. A seca do NEB, por exemplo, está relacionada com o fenômeno de El Niño no oceano Pacífico a mais de 10.000 km de distância. Assim, sabendo a estatística dos eventos de El Niño moderados e fortes, pode-se usar essa informação com outras mais para fazer uma previsão climática das chuvas no NEB. A seguir, relatam-se alguns estudos nessa direção.

Em 1972, Namias estudou a possível relação entre eventos de tempo no Hemisfério Norte com a chuva em Quixeramobim, no Ceará, ( $5^{\circ} 12'S$ ,  $39^{\circ} 18'W$ ). Mostrou assim que a precipitação naquela localidade é relacionada com a circulação da atmosfera na região da Terra Nova/Groenlândia durante o inverno e primavera do Hemisfério Norte. Essa relação climática está associada com a variação na intensidade e posição da ZCIT e com a teleconexão conhecida como “Pacific North America” (PNA) que também está relacionada com o fenômeno El Niño/Oscilação do Sul (ENOS). Quando existe forte atividade ciclônica na Terra Nova e Groenlândia, o anticiclone semi-estacionário do Atlântico Norte fica mais fraco e a ZCIT permanece mais ao norte do NEB, causando a seca. No caso contrário, quando existe bloqueio na Terra Nova e Groenlândia, o anticiclone se intensifica movendo a ZCIT mais para o sul e provocando chuvas em excesso no NEB.

Markham e McLain (1977) encontraram uma relação entre a TSM no Atlântico Sul e a precipitação em Fortaleza e Quixeramobim, ambas no Estado do Ceará, localizadas na parte mais ao norte do NEB. O mecanismo dinâmico sugerido por eles é que a TSM afeta a altura da camada de inversão dos ventos alísios, a altura da camada úmida e a conseqüente variação na precipitação e na liberação do calor latente de condensação para a atmosfera, modificando a circulação. Os resultados deles também sugerem uma associação entre TSM abaixo do normal no Atlântico Sul (precipitação abaixo do normal em Fortaleza e Quixeramobim) e o fenômeno ENOS. De acordo com esses autores, metade da precipitação do período de janeiro a março

em Fortaleza pode ser prevista usando a TSM média de dezembro do ano anterior no Atlântico Sul.

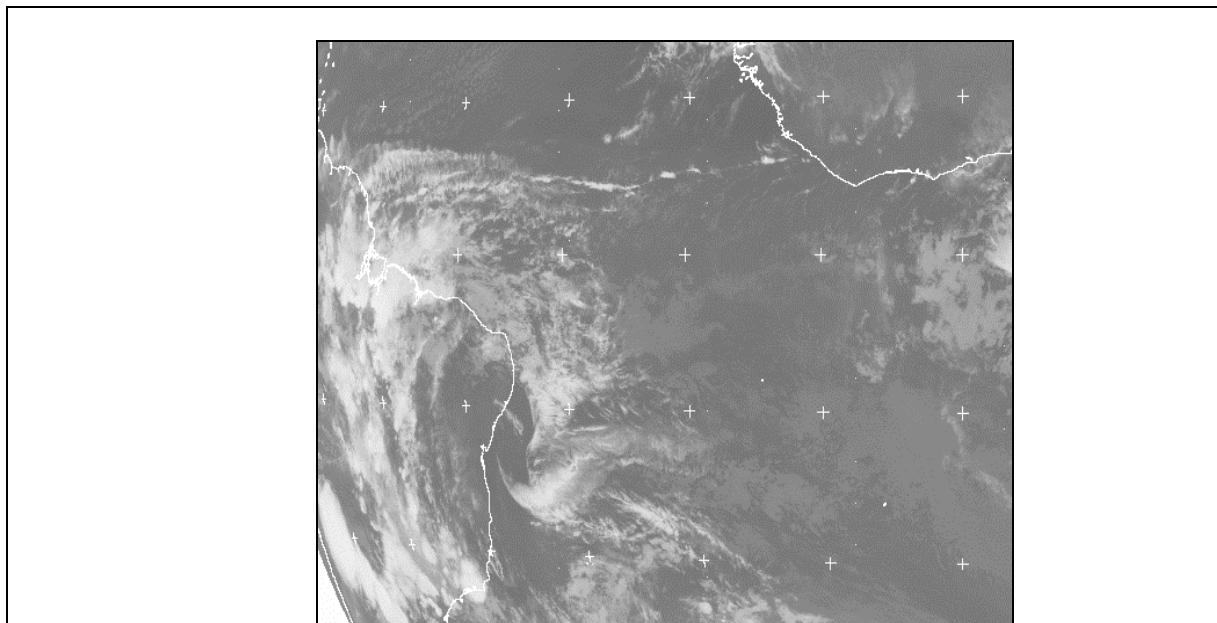


Figura 6.9 – Imagem do satélite METEOSAT 5, no canal infravermelho, de um Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS), em 04/01/96 às 21:00 h

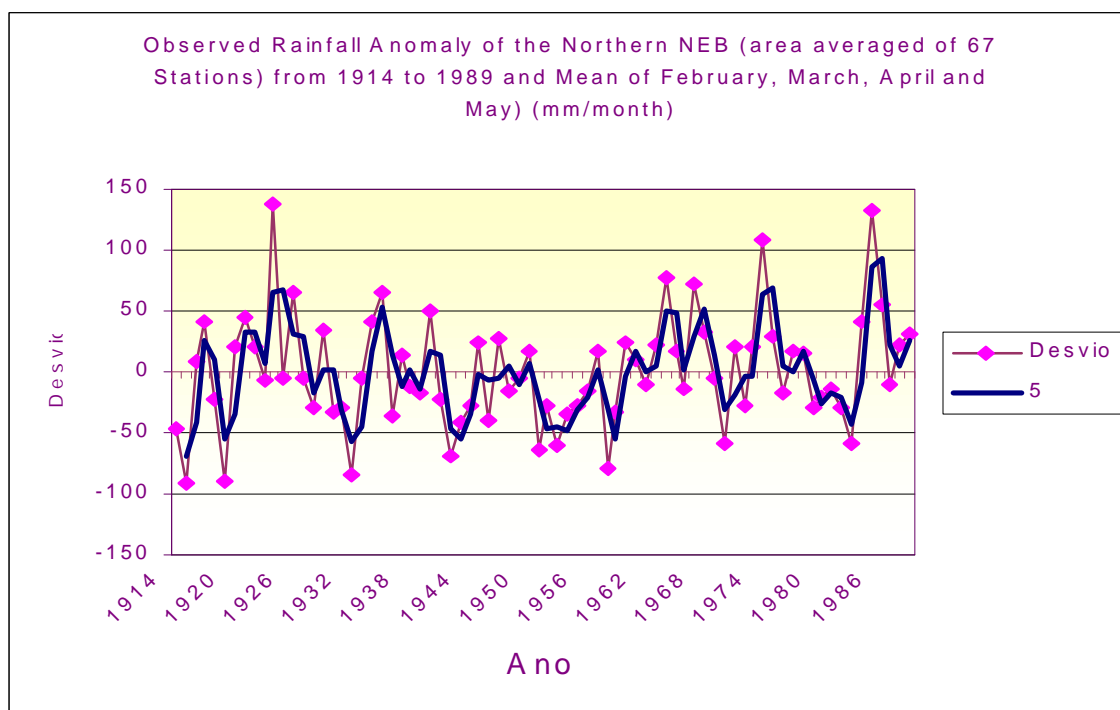


Figura 6.10 – Anomalias da precipitação observada no norte do Nordeste do Brasil (n-NEB) (média de 67 estações) de 1914 a 1989 (média dos meses de fevereiro, março, abril e maio, em mm/mês), com a média móvel de cinco anos

Hastenrath e Heller (1977) estudaram a influência da TSM no Atlântico e no leste do Pacífico, e da posição da ZCIT na variabilidade da chuva no estado do Ceará. Os resultados deles sugerem que um prognóstico do comportamento de períodos chuvosos extremos no NEB pode ser possível a partir de sinais que aparecem no Atlântico com antecedência de aproximadamente seis meses. Recentemente, Xavier e Xavier (1998a e b) e Xavier et alli (1998), elaboraram modelos estocásticos para a previsão da chuva no estado do Ceará. Esses modelos foram utilizados para a previsão do período chuvoso de fevereiro a maio de 1998, a partir de valores de variáveis oceano - atmosféricas nos meses de novembro-dezembro de 1997 e em janeiro de 1998. Os modelos não deram boas respostas pois um VCAS permaneceu quasi-estacionário sobre o NEB nos meses de dezembro de 1997 e janeiro de 1998, com sua banda norte causando precipitação acima do normal naqueles meses.

Portanto, modelos estatísticos ou dinâmicos estatísticos são somente ferramentas, e não podem ser utilizados individualmente para uma previsão climática, sem considerar os sistemas atuantes na região e os modelos dinâmicos. Mesmos os modelos dinâmicos, a seguir, não podem ser considerados individualmente pois alguns são experimentais e os que estão operacionais não dão 100% da resposta da atmosfera.

### **6.3.3 - MÉTODOS NUMÉRICOS OU DINÂMICOS**

Os modelos numéricos utilizam as equações da dinâmica dos fluidos (também, chamadas de equações do movimento) discretizando os parâmetros oceânicos e/ou atmosféricos no espaço e no tempo, e integrando-os para um tempo futuro. Esses modelos podem ser atmosféricos, oceânicos ou oceano-atmosfera acoplados. Eles são, também tridimensionais com vários níveis na vertical; podem ser globais ou regionais. Os modelos globais da atmosfera são também chamados de “modelos de circulação geral da atmosfera” (MCGA). Os modelos regionais são também conhecidos como modelos de área limitada. Esses modelos podem ser utilizados para a previsão do tempo em até 72 horas e para a previsão climática. A vantagem desses modelos é que eles podem resultar numa previsão climática com boa precisão, com três a quatro meses de antecedência dependendo das condições iniciais de partida do modelo.

Assim, vários parâmetros atmosféricos e oceânicos podem ser previstos com esses modelos, inclusive a TSM e a precipitação, com seus desvios com relação à normal climática e a distribuição espacial dessas variáveis. Normalmente, são feitos vários experimentos onde os modelos são rodados com condições iniciais diferentes e mantendo-se as condições de fronteira de superfície (i. e., as TSMs, albedo, vegetação, etc.) segundo um padrão comum, variando com o tempo, durante vários meses a vários anos, para os vários experimentos. Depois, se faz uma composição dos vários experimentos para suavizar a resposta. O resultado é então considerado dentro de uma margem probabilística.

Os modelos atmosféricos já estão operacionais há pelo menos 15 anos e conseguem uma ótima previsão do tempo e do clima, dependendo do período do ano e da região. Os modelos oceânicos do Pacífico já estão operacionais e descrevem bem, num futuro de três até seis meses, a estrutura e as correntes oceânicas bem como a TSM. Ainda não existem bons modelos para os demais oceanos, inclusive o Atlântico. Os modelos oceano-atmosfera acoplados se encontram em estado embrionário de desenvolvimento mas, quando estiverem operacionais, será possível previsões climáticas de regiões tropicais com até três ou mais anos de antecedência. Nos capítulos seguintes, resultados desses modelos serão descritos.

#### **6.4 - ANOS SECOS E CHUVOSOS NO NEB**

##### **6.4.1 - CLASSIFICAÇÃO DE ANOS SECOS, NORMAIS E CHUVOSOS**

Anos normais e anômalos com respeito à precipitação podem ser classificados de diversas formas. A técnica de quantis tem sido muito utilizada para o monitoramento e a previsão climática no NEB. Assim, pode-se classificar um determinado ano, ou um conjunto de meses de um determinado ano, de acordo com a precipitação total média de um conjunto de postos pluviométricos da região considerada, em muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso.

#### 6.4.2 – ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO NO NEB

Os anos do período de 1914 a 1998 no n-NEB (Figura 6.10), foram classificados nas cinco categorias a seguir discriminadas, utilizando-se a média da precipitação total do período chuvoso de fevereiro a maio, de 67 localidades (De Brito et ali, 1991), igualmente espaçadas com uma boa densidade para a região: em normais quando a anomalia de precipitação variou entre 25mm/mês para mais, ou menos, da média histórica; anos secos e muito secos foram classificados, respectivamente, dentro das faixas de -25 a -50mm/mês e menores que -50mm/mês; e, finalmente, anos chuvosos e muito chuvosos, dentro das faixas respectivas de +25 a +50 mm/mês e maiores que +50mm/mês. Os dados do NEB ao sul de 12° S, na parte sul da Bahia, não foram considerados pois as variações interanuais da precipitação nessa sub-região diferem daquelas do n-NEB (Aragão, 1986; Nobre e Molion, 1987), assim como os sistemas meteorológicos, também, não são os mesmos.

A Tabela 6.1 (Aragão, 1998b) mostra os anos de 1914 a 1998 classificados segundo as anomalias na precipitação total observada de fevereiro a maio no n-NEB em referência à uma série em períodos de 13 anos, usando a média de área das 67 localidades já mencionadas. A figura 6.10 representa a série histórica dessas anomalias de 1914 a 1989. Pode-se notar vários fatos nessa série: a impossibilidade de se determinar quais os anos com mínimos na precipitação; variações na determinação do início ou término dos grupos de anos secos em até dois ou três anos; na maioria dos casos os anos secos se sucedem em pelo menos dois anos; com pelo menos um dos anos sendo muito seco.



Tabela 6.1 – Anos Classificados Segundo as Anomalias na Precipitação Total Observada de Fevereiro a Maio no Norte Semi-Árido do Nordeste do Brasil (N-NEB) (Média de Área de 67 Estações), com Indicação dos Anos Muito Secos, Secos, Normais, Chuvosos e Muito Chuvosos, e os Anos de Mínimos Valores de Precipitação, para a Série Agrupada em Períodos de 13 Anos

ANO (INICIAL NA SÉRIE DE 13 ANOS)	ANOS SECOS	ANOS NORMAIS	ANOS CHUVOSOS
1919	1914*, 1915*, 1919*	1916, 1918, 1920, 1922, 1923, 1925	1917, 1921, 1924*,
1932	1928, 1930, 1931, 1932*, 1936	1927, 1933, 1937, 1938	1926*, 1929, 1934, 1935*
1945	1942, 1943, 1944, 1946, 1951*	1939, 1941, 1948, 1949, 1950	1940*, 1945, 1947
1958	1952, 1953*, 1954, 1955, 1958*, 1959	1956, 1957, 1961, 1962, 1963	1960, 1964*
1971	1970*, 1972	1965, 1966, 1969, 1971, 1973, 1976, 1977	1967, 1968*, 1974*, 1975
1984	1979, 1982, 1983*	1978, 1980, 1981, 1987, 1988	1984, 1985*, 1986*, 1989
1997	1992, 1993*, 1997, 1998*	1990, 1991, 1994, 1995, 1996	

Observação: \* anos muito secos ou muito chuvosos.

#### 6.4.3 - COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO NO NEB

Uma composição de anos anômalos de acordo com dois grupos - anos com excesso e déficit de precipitação - foi realizada por Silva e Aragão (1998) . Essa metodologia permite determinar as sub-regiões do NEB onde as anomalias são maiores e, conseqüentemente, onde os impactos das secas, ou anos com excesso de chuvas, são mais sentidos.

Os dados de precipitação de 130 estações no Nordeste do Brasil (De Brito et al., 1991) foram utilizados para a confecção de mapas dos totais normais mensais, e desvios absolutos da precipitação, mês a mês, durante o período de 1914 a 1989. De posse dos desvios absolutos de precipitação de 1914 a 1989, foram identificados aqueles anos de anomalias comuns de modo a proceder uma composição de anos anômalos com respeito à precipitação.



Os anos anômalos foram divididos em dois grupos: os anos com déficit, correspondendo a 1914, 15, 19, 28, 30, 31, 32, 36, 39, 41, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 70, 72, 79, 80, 81 82 e 83; e os anos com excesso: correspondendo a 1921, 24, 26, 29, 34, 35, 40, 45, 47, 60, 64, 67, 73, 74, 75, 84, 85, 86 e 88. A escolha desses anos se baseou no critério de que os meses centrais da quadra chuvosa (março e abril) apresentaram desvios significativos com relação à normal climatológica de 1914 a 1989. Foram calculadas anomalias (desvios com relação à média de 1914-89) dos anos com déficit ou com excesso de precipitação

O ano de 1983 foi escolhido como um dos anos considerados muito seco para a descrição do padrão das anomalias de precipitação. Nesse ano, nem todos os meses da quadra chuvosa apresentaram desvios negativos sistemáticos. Por exemplo, no mês de fevereiro, somente algumas sub-regiões do Rio Grande do Norte (oeste e leste), Ceará (sul), Piauí (centro) e Bahia (parte do noroeste) apresentaram desvios negativos, com o restante do NEB apresentando desvios positivos. No entanto, a partir do mês de março, as anomalias negativas se estabeleceram sobre quase toda a região, com exceção de Sergipe, leste e sul da Bahia, com valores máximos de anomalias negativas atingindo -140mm no centro-norte do Piauí. No mês de abril, praticamente todo o NEB apresentou anomalias negativas com valores máximos de -160mm no norte do Piauí. Tal quadro se repetiu no mês de maio com valores máximos de -140mm no norte do Piauí e noroeste do Ceará.

O ano de 1974 foi aqui selecionado para exemplificar os anos com excesso de precipitação. Nesse ano, todos os meses do período chuvoso do norte semi-árido do NEB apresentaram desvios positivos de precipitação, com poucas exceções, inclusive a do sul da Bahia nos meses de fevereiro e abril. Os máximos de anomalias positivas ocorreram: nos sertões da Paraíba e Pernambuco com valores acima de 200mm, no mês de fevereiro; no norte do Piauí e noroeste do Ceará com valores acima de 200mm, no mês de março; no norte do Piauí e noroeste do Ceará com valores acima de 300mm, no mês de abril; e no norte do Piauí e noroeste do Ceará com valores acima de 200mm no mês de maio.

Evidentemente, nem todos os anos selecionados se comportam da maneira como os anos de 1983 (muito seco) e 1974 (muito chuvoso).

Considerando a média dos anos secos e chuvosos nos meses de fevereiro a maio, conclui-se que:

- a) nos anos considerados secos, anomalias negativas ocorreram em todo o NEB com máximos no norte do Piauí e noroeste do Ceará, no mês de fevereiro. Já nos meses de março, abril e maio o quadro é semelhante com anomalias negativas em todo o NEB com máximos no norte do Piauí, noroeste e nordeste do Ceará;
- b) nos anos considerados chuvosos, o mês de fevereiro apresentou anomalias positivas em todo o NEB (exceção de parte do sul da Bahia), com máximos no norte do Piauí/nordeste do Ceará, sudeste do Piauí/noroeste da Bahia, e sertão da Paraíba. O mês de março apresentou todo o NEB com anomalias positivas com máximos no norte do Piauí/noroeste do Ceará e sertão da Paraíba. Abril foi semelhante ao mês de fevereiro (exceção do sudeste do Piauí/noroeste da Bahia). Finalmente, no mês de maio, a configuração foi de anomalias positivas em todo o NEB com exceção do sul da Bahia e máximos no norte do Piauí/noroeste do Ceará, sertão da Paraíba/parte do sertão de Pernambuco, litoral do Rio Grande do Norte e Paraíba e a parte central de Sergipe.

Mapas foram preparados para os conjuntos de meses compostos dos anos considerados secos e dos anos considerados chuvosos. A Figura 6.11 representa a composição da quadra chuvosa do semi-árido do NEB (fevereiro a maio) para os anos considerados secos. Em toda a região as anomalias são negativas e os valores máximos se encontram no norte do Piauí/noroeste e nordeste do Ceará, sertão paraibano e centro de Alagoas/Sergipe. Na Figura 6.12, que representa a composição da quadra chuvosa (fevereiro a maio) para os anos considerados chuvosos, a configuração é a mesma da Figura 6.11, agora com valores de anomalias positivas, ou seja o inverso dos anos secos.

Assim, os resultados gerais mostram que existem pelo menos três regiões com grandes variações de precipitação, tanto negativas como positivas, nos meses da quadra chuvosa do norte semi-árido do Nordeste do Brasil (NEB) (fevereiro a maio), a saber: norte do Piauí/noroeste e nordeste do Ceará, sertão da Paraíba e centro de Alagoas/Sergipe. Essas regiões se destacam em anos com grandes déficits/excesso

de chuvas, nas médias dos anos considerados secos/chuvosos e, também, na composição dos meses de fevereiro a maio dos anos considerados secos/chuvosos.

## **6.5 - OS FENÔMENOS EL NIÑO OSCILAÇÃO DO SUL (ENOS) E DIPOLO DO ATLÂNTICO**

O estudos das teleconexões, ou seja, das interdependências do clima e sua variabilidade em diferentes partes da Terra, têm sido acelerado nas últimas duas décadas, com milhares de artigos publicados em revistas especializadas e revistas de grande circulação regional e internacional.

A variação interanual da precipitação no NEB é muito grande e depende, principalmente, de dois fenômenos do sistema oceano-atmosfera, o El Niño/Oscilação do Sul (ou anti-El Niño/Oscilação do Sul) e o Dipolo do Atlântico.

### **6.5.1 - O FENÔMENO ENOS E SEU IMPACTO MUNDIAL**

O El Niño (EN) é o aquecimento da água do mar no Pacífico Tropical da costa do Peru/Equador até o oeste do Pacífico. O nome El Niño se refere ao Menino Jesus pois, desde o século XVI, os pescadores do Peru/Equador denominaram o aquecimento das águas do mar com esse nome, já que ele acontece próximo do natal em praticamente todos os anos. O anti-El Niño (anti-EN) ou La Niña (LN) é o oposto, ou seja, o resfriamento da água do mar no Pacífico tropical desde a costa da América do Sul até o oeste do Pacífico.

A Oscilação do Sul (OS) é a variação anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea ao El Niño ou La Niña, associada a mudanças na circulação geral da atmosfera.

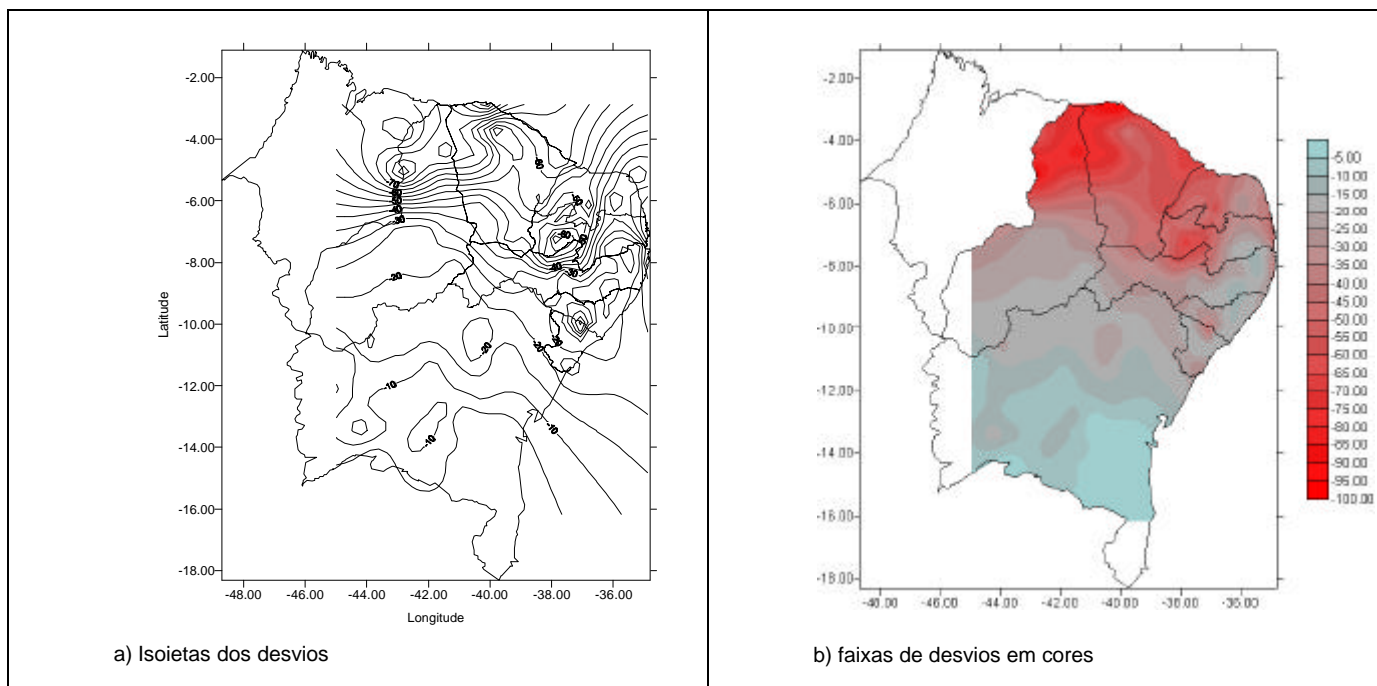


Figura 6.11 – Composição dos desvios médios da precipitação (mm) nos meses de fevereiro a maio dos anos secos. A composição foi calculada tomando-se a média dos desvios absolutos dos meses de fevereiro, março, abril e maio dos anos secos (14, 15, 19, 28, 30, 1931, 32, 36, 39, 41, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 70, 72, 79, 80, 81, 82 e 83). A série de precipitação abrange o período de 1914 a 1989

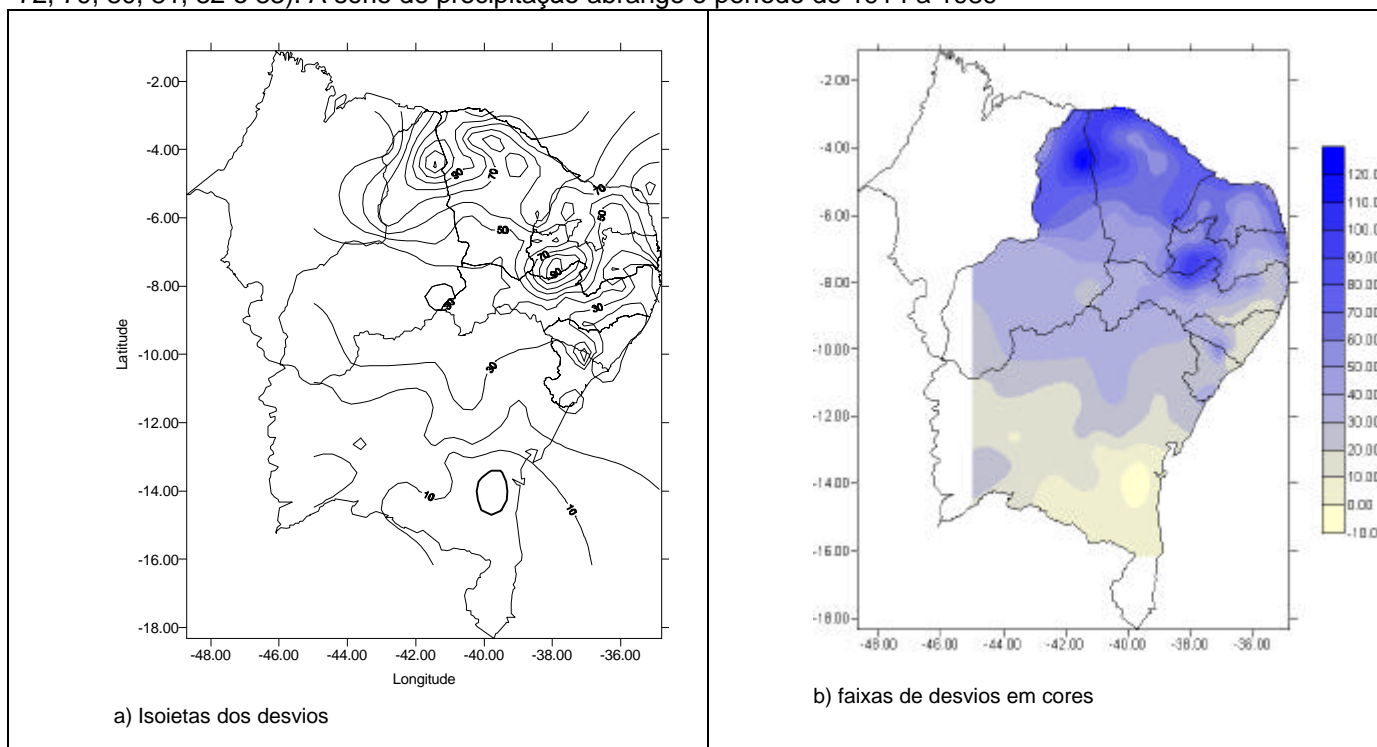


Figura 6.12 – Composição dos desvios médios da precipitação (mm) nos meses de fevereiro a maio dos anos chuvosos. A composição foi calculada tomando-se a média dos desvios absolutos dos meses de fevereiro, março, abril e maio dos anos considerados chuvosos (1921, 24, 26, 29, 34, 35, 40, 45, 47, 60, 64, 67, 73, 74, 75, 84, 85, 86 e 88). A série de precipitação abrange o período de 1914 a 1989

Uma das primeiras tentativas para descrever a natureza global da circulação atmosférica e das teleconecções foi feita por Walker (1923, 1924 e 1928a). Ele introduziu o termo “Oscilação do Sul” para descrever variações interanuais de longo

período em variáveis meteorológicas à superfície como a pressão ao nível do mar, temperatura do ar e precipitação na região dos oceanos Índico e Pacífico. A OS foi vista por Walker como uma gangorra no campo da pressão atmosférica sobre a região tropical desses oceanos, com eixo deslocado ao sul do equador, daí a denominação “do Sul”. Essa palavra foi também usada para distinguir a OS das oscilações confinadas exclusivamente no Hemisfério Norte, como, por exemplo, uma outra oscilação na pressão atmosférica encontrada por Walker entre o Atlântico Norte e o Pacífico Norte. Infelizmente, a palavra “Sul” não foi a melhor escolha pois a OS não é confinada aos oceanos Pacífico Sul e Índico Sul. Walker notou a tendência das flutuações de longo período na pressão do Oceano Pacífico serem de sinal oposto aquelas do Oceano Índico. Variações no campo da precipitação mostravam uma configuração semelhante, mas oposta à da pressão.

Walker suspeitou que a OS não se limitava aos oceanos Pacífico e Índico. Essa idéia era baseada no trabalho de Hildebrandsson (1897) e outros autores. Hildebrandsson encontrou uma relação fora de fase entre as anomalias de pressão a superfície em Sidney ( $34^{\circ}\text{S}$ ,  $150^{\circ}\text{E}$ ) e Buenos Aires ( $35^{\circ}\text{S}$ ,  $60^{\circ}\text{W}$ ), dois locais separados por quase metade da circunferência da Terra naquela latitude. Walker (1928b) chegou até a publicar um artigo sugerindo uma possível relação entre a OS e as secas no Nordeste do Brasil, uma região bem distante dos centros de ação originais nos oceanos Pacífico e Índico. Em 1965, Troup mostrou que a OS é um fenômeno global e, em 1969, Bjerknes mostrou que a OS estava ligada ao fenômeno de El Niño e denominou a circulação zonal entre os oceanos Pacífico e Índico tropicais como “Circulação de Walker” para homenagear o cientista inglês.

Nos anos de El Niño/Oscilação do Sul (ENOS), a pressão atmosférica tende a valores mais baixos no Pacífico e aumenta no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e a mudança dos ventos alísios aumentam os movimentos ascendentes, formam mais nuvens e produzem mais chuva. Os movimentos ascendentes acelerados e o calor latente de condensação (liberado no processo de formação das nuvens) modificam a circulação geral (Walker), causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical, principalmente no sentido zonal. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e reduzem a precipitação (com secas em eventos moderados a fortes),

como no caso no norte do Nordeste do Brasil (n-NEB) e da Indonésia. Nas regiões extra-tropicais, a circulação da atmosfera (corrente de jato) também é alterada, causando o fenômeno de bloqueio e mudando a trajetória e intensidade dos sistemas frontais, aumentando as chuvas (e causando enchentes nos episódios moderados e fortes) em regiões da América do Norte e América do Sul, como no caso do Sul do Brasil com exceção da bacia do Uruguai.

Nos anos de anti-El Niño/Oscilação do Sul (anti-ENOS), também conhecido como La Niña/Oscilação do Sul (LNOS), a TSM no Pacífico tropical é anômala, resfriada com aumento de pressão no Pacífico e diminuição no restante da região tropical. Os valores altos de pressão estão relacionados com a forte subsidência que inibe a formação de nuvens e reduz a precipitação. Essa subsidência no Pacífico tropical está ligada à circulação de Walker que produz, também, movimentos ascendentes acelerados sobre o Nordeste do Brasil e sobre a Indonésia com chuvas em excesso. Nas regiões extratropicais, a resposta da atmosfera é oposta ao ENOS.

Os episódios ENOS podem ser considerados muito fracos, fracos, moderados e fortes dependendo do valor máximo alcançado pelas anomalias de TSM, da área coberta no Pacífico e da sua duração. Segundo Aragão (1990), de acordo com o trabalho de Quinn et alii (1978), considerando os episódios de El Niño muito fracos, fracos, moderados e fortes durante o período de 1864 a 1972, a média de intervalos entre episódios é de 3,2 anos. Se os episódios muito fracos forem excluídos, essa média é de 3,7 anos entre 1844 e 1976, coincidindo com o intervalo médio de anos entre as secas no n-NEB, aproximadamente. Excluindo os episódios muito fracos e fracos, a média sobe para 5,4 anos no período de 1791 e 1976. E, finalmente, se só os episódios fortes forem considerados, a média é de 12,3 anos durante o período que vai de 1763 a 1972, coincidindo com o intervalo médio de anos entre as secas severas no NEB (entre 12 e 13 anos), aproximadamente. Dos episódios fortes de El Niño pesquisados de 1845 até 1998 (14 episódios), ocorreram 5 anos secos no mesmo ano do evento (ano com o máximo de anomalia de TSM no Pacífico), 7 anos secos no ano seguinte e 1 ano seco no segundo ano após o máximo de anomalia de TSM.

Assim, uma classificação dos eventos de ENOS pode ser feita da seguinte forma:

- a) muito fraco  $\Rightarrow$  anomalia da TSM (ATSM) de até  $1^{\circ}$  C, extensão de 2.500 Km ao longo da região equatorial, e duração de até seis meses;
- b) fraco  $\Rightarrow 1,0^{\circ}$  C  $\leq$  ATSM  $\leq 2,0^{\circ}$  C, extensão de 2.500 a 5.000 Km, e duração de seis a 12 meses;
- c) moderado  $\Rightarrow 2,0^{\circ}$  C  $\leq$  ATSM  $\leq 3,0^{\circ}$  C, extensão de 5.000 a 7.500 Km, e duração de 12 a 15 meses;
- d) forte  $\Rightarrow 3,0^{\circ}$  C  $\leq$  ATSM, extensão maior de 7.500 Km, e duração maior que 15 meses.

O ciclo completo do fenômeno ENOS/LNOS evolui durante 3 anos e 2 meses, aproximadamente, em média. Uma composição dos eventos desde 1914 até 1998, mostra o seguinte: evento ENOS = 1 ano e 2 meses; transição ENOS-LNOS = 5 meses, evento LNOS = 1 ano e 2 meses; transição LNOS-ENOS = 5 meses. A Figura 6.13 mostra um esboço do ciclo completo de um evento ENOS. Iniciando com: A) a TSM modifica a circulação atmosférica tropical; B) a circulação tropical modifica a circulação extratropical; C) a circulação tropical modifica os ventos na superfície do oceano; D) o vento superficial muda a circulação oceânica e a estrutura dos oceanos tropicais, a termoclina, e a TSM; E) finalmente, atinge-se o ponto A, onde a TSM muda a circulação atmosférica tropical.

De 1914 até 1998, ocorreram 27 eventos ENOS (3,1 anos em média entre os eventos), classificados a seguir (anos do início do evento):

- muito fracos = 1946 e 48;
- fracos = 1917, 23, 32, 43, 51, 63, 69, 76, 79, 86 e 92;
- moderados = 1914, 29, 39, 53, 65, 72, 87 e 91;
- fortes = 1918, 25, 41, 57, 82 e 97.

Portanto, resumindo, o ENOS é um fenômeno global do oceano e da atmosfera. As anomalias climáticas relacionadas são persistentes e duram por vários meses, principalmente, na atmosfera tropical (Aragão, 1986). Exemplos são as secas na



Indonésia, Austrália e norte do Nordeste do Brasil. Chuvas acima da normal ocorrem no Peru, Equador e Ilhas do Pacífico central e leste. Existem também anomalias em latitudes extra-tropicais, como as temperaturas acima da normal no Alasca, Sudeste da Ásia, Sul e Sudeste do Brasil, e chuvas acima da normal no Sudeste e Sul do Brasil, e Norte da Argentina. O fenômeno anti-El Niño/Oscilação do Sul (anti-ENOS), também conhecido como La Niña/Oscilação do Sul (LNOS), é o oposto do ENOS e causa anomalias opostas.

A Figura 6.14 mostra a resposta da atmosfera com e sem o El Niño. Em condições normais (sem El Niño), a circulação de Walker ascende sobre as águas quentes do oeste do Pacífico e desce sobre as águas frias do leste. Quando um evento de El Niño está em curso, a circulação de Walker ascende no Pacífico central e desce sobre a Indonésia e a região que engloba a Amazônia, NEB e oceano Atlântico adjacente. O movimento ascendente causa aumento de nebulosidade e chuvas. O movimento descendente inibe a formação de nuvens e reduz a precipitação. No entanto, somente os eventos ENOS/LNOS moderados e fortes parecem influenciar nas chuvas do NEB.

Modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA) têm sido utilizados para reproduzirem a resposta da atmosfera a variações de (TSM) nos oceanos tropicais, principalmente no oceano Pacífico. Em 1986, Aragão realizou uma série de experimentos com um MCGA do “National Center for Atmospheric Research” (NCAR), localizado em Boulder, Colorado, na qual anomalias de TSM do Oceano Pacífico foram utilizadas para simular respostas na atmosfera devidas a eventos de El Niño. Uma análise paralela foi realizada para mostrar a evidência empírica da relação entre eventos de El Niño e secas no NEB, utilizando 57 estações localizadas na parte norte da latitude 12°S, incluindo todo o Estado de Pernambuco, norte da Bahia, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão.

Tanto a precipitação observada quanto a obtida no modelo apresentaram reduções significativas durante o período chuvoso de fevereiro a maio no norte do NEB, no ano seguinte à máxima anomalia na TSM no Pacífico associada com o fenômeno de El Niño. No período de fevereiro a maio desses anos, ocorre o seguinte: a pressão ao nível do mar no Atlântico Sul aumenta, o vapor d’água e o movimento vertical ascendente diminuem na troposfera sobre o NEB, e a componente oeste-este



do vento (vento zonal) na alta troposfera (parte superior da circulação de Walker) mostra anomalias significativas no vento de oeste sobre a porção equatorial da América do Sul e Oceano Atlântico. A circulação de Walker anômala na troposfera superior é consistente com a supressão do movimento vertical ascendente sobre o NEB e Amazônia e a redução do transporte de vapor d'água da baixa para a alta troposfera, inibindo a formação de nuvens e, assim, reduzindo a precipitação.

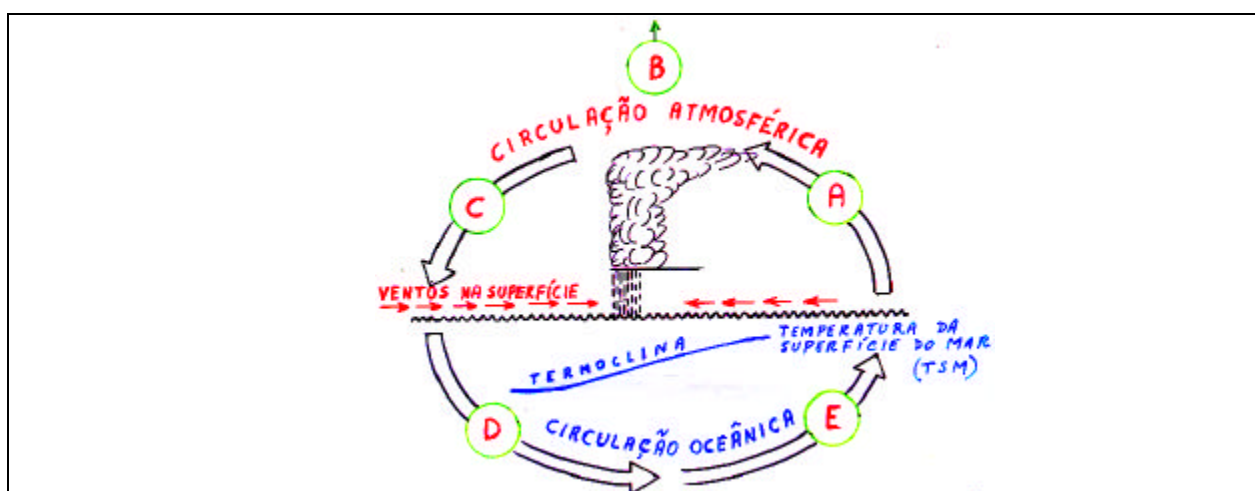


Figura 6.13 – Esquema de Interação Oceano-atmosfera no Oceano Pacífico, durante um evento ENOS

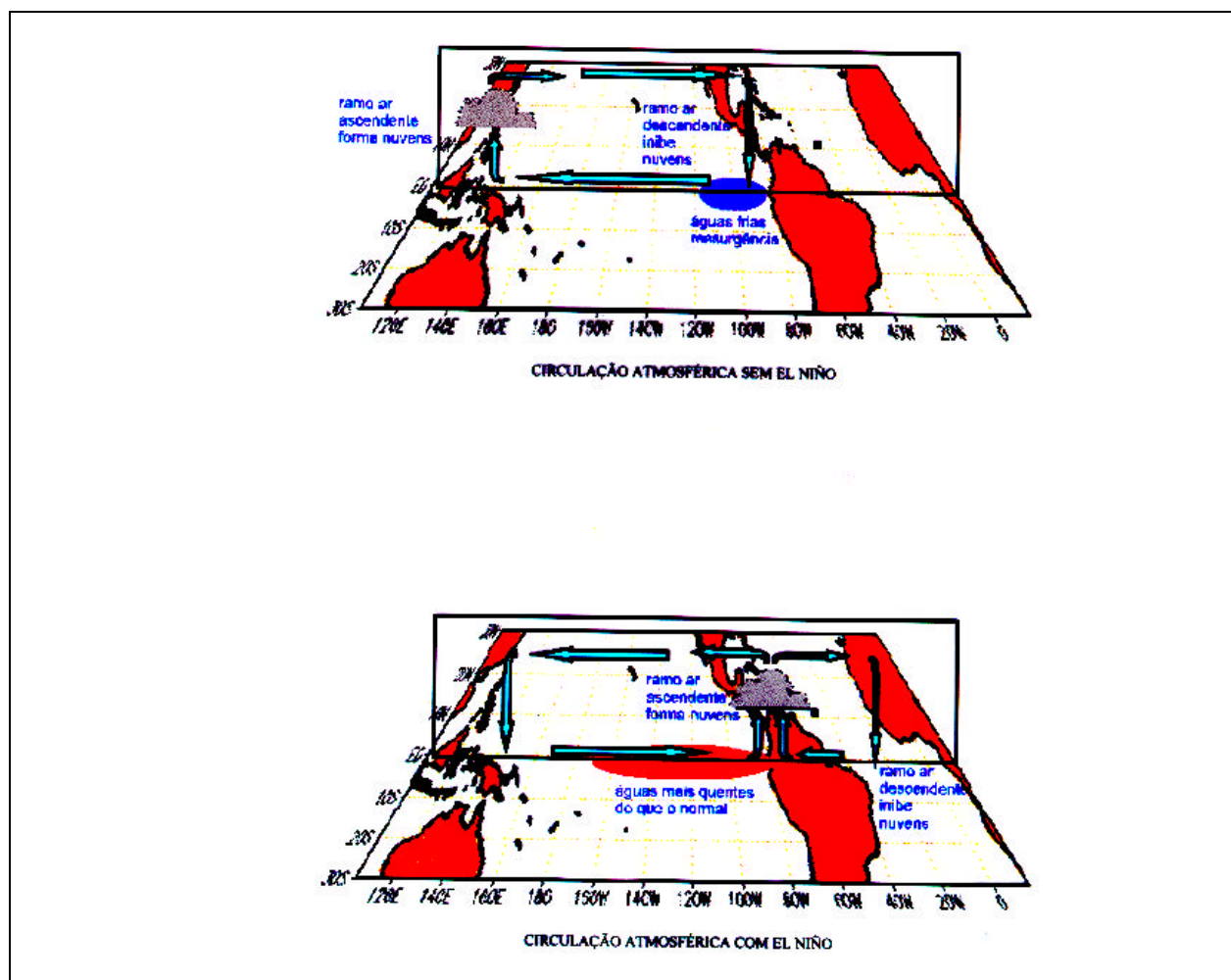


Figura 6.14 – Esquema da Atmosfera sem e com El Niño

### 6.5.2 - O FENÔMENO DIPOLO DO ATLÂNTICO E O SEU IMPACTO

Outros trabalhos indicam que existe um outro fenômeno oceano-atmosférico conhecido como Dipolo do Atlântico que causa variação de precipitação no NEB e na África (Moura e Shukla, 1981) (Figura 6.15). O Dipolo do Atlântico é a mudança diferencial anômala das águas do Atlântico tropical norte e Atlântico tropical e equatorial sul, causando anomalias na precipitação sobre o Nordeste. Esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera (Hadley) e inibe ou aumenta a formação de nuvens, diminuindo ou aumentando a precipitação. Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o NEB e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte

estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o NEB e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens e aumentando a precipitação e provocando enchentes, em muitas ocasiões.

## **6.6 - CORRELAÇÕES ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO N-NEB E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM)**

As Correlações entre a precipitação no n-NEB e a temperatura da superfície do Mar (TSM), indicam que fenômenos nos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais são responsáveis por mais de 90% da variabilidade da precipitação observada nessa parte do NEB.

### **6.6.1 - DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES OCEÂNICAS COM CORRELAÇÕES SIGNIFICATIVAS COM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÃO NO N-NEB**

Aragão et alli (1994) estudaram a resposta da atmosfera às variações das TSMs de todo o Globo para o período de 1970 a 1988, utilizando um MCGA (Modelo de Circulação Geral da Atmosfera) do Laboratoire de Météorologie Dynamique da França (LMD). Correlações lineares entre índices de anomalias de precipitação sobre o NEB e índices de anomalias de TSM no Pacífico e Atlântico para março e abril mostram que as relações mais fortes são entre a precipitação do modelo (NOR - precipitações do NNEB prevista no modelo LMD) e o Dipolo do Atlântico (DIP) (0,91), NOR-LMD e Atlântico Norte (ATLN) (-0.87), e NOR-LMD e Pacífico (PAC) (-0.75). As correlações com os dados observados de 67 localidades (De Brito et alli, 1991) (NOR-OBS) e DIP (0.75), NOR-OBS e ATLN (-0.65), e NOR-OBS e PAC (-0.70) mostram valores inferiores às correlações feitas com dados do modelo indicando que o mesmo não representa a totalidade da variabilidade atmosférica (Aragão et alli, 1994, Roucou et alli, 1996). No entanto, a correlação entre NOR-OBS e NOR-LMD (0.83 para Março-Abril e 0,91 para Fevereiro-Maio) mostra que o modelo simula corretamente a variabilidade interanual da estação chuvosa sobre o NEB com poucas exceções (Harzallah et alli, 1996).

As regiões oceânicas com correlações significativas com relação à precipitação no n-NEB são mostradas na Figura 6.16, e correspondem, aproximadamente à região conhecida como Niño-3 no Pacífico e aquela do Dipolo do Atlântico de Moura e Shukla (1981).

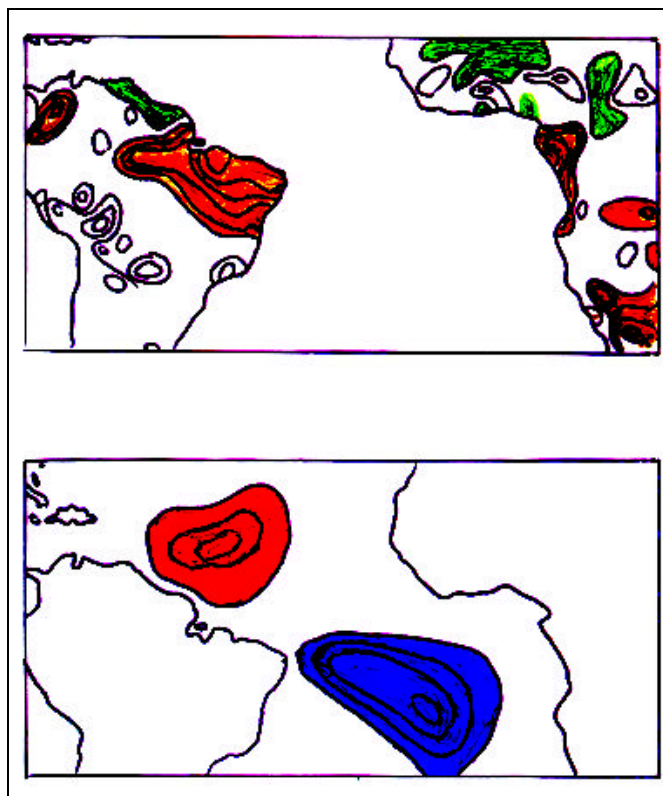


Figura 6.15 – Regiões de secas na África Ocidental e na América do Sul (acima, com a cor verde representando chuvas em excesso, e a vermelha as secas), relacionadas com o Dipolo do Atlântico (abaixo), quando o Atlântico Norte está quente (vermelho) e o Atlântico Sul está frio (azul)

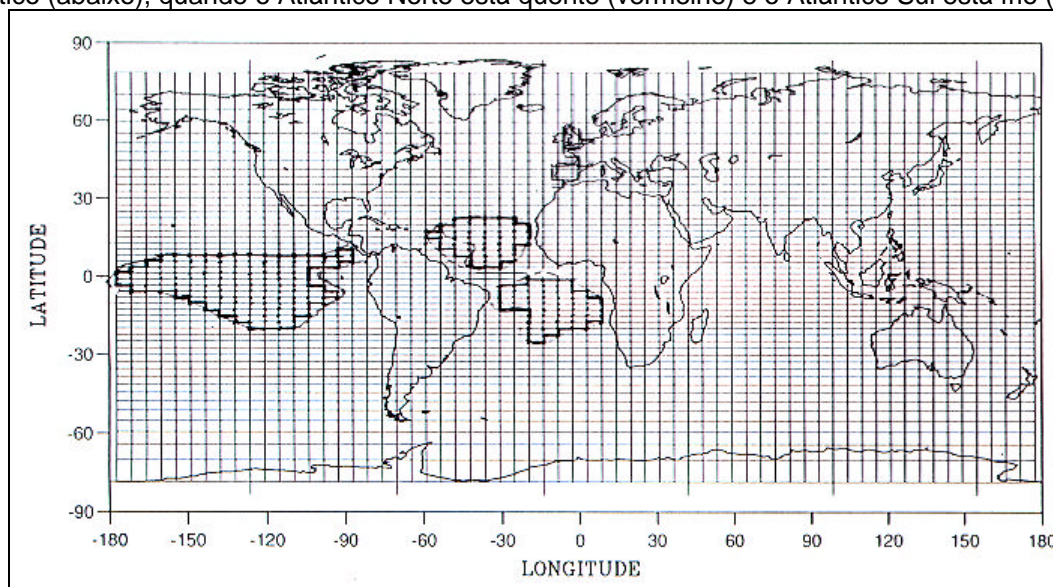


Figura 6.16 – Regiões de melhores correlações da SST com as chuvas no n-NEB

Aragão et alli (1996), mostraram que um índice pode ser obtido para inferir a precipitação total, no período de fevereiro a maio, no n-NEB, a partir das anomalias de TSM das regiões mostradas na figura 6.16. Esse índice é apresentado pelos gráficos da Figura 6.17.

#### **6.6.2 - CORRELAÇÕES DEFASADAS NO TEMPO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO N-NEB E AS TSMS NO PACÍFICO E NO ATLÂNTICO**

Correlações defasadas no tempo entre as anomalias de precipitação no n-NEB, durante a estação chuvosa de fevereiro a maio, e as anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico (-0.53 e -0,54 para o Pacífico, e 0.75 e 0,84 para o Dipolo do Atlântico) com dados observados e do modelo do LMD, respectivamente indicam um decréscimo à medida que a defasagem aumenta. No entanto, para o Dipolo do Atlântico, a defasagem 6 (meses de agosto a novembro) apresenta índice maior (0.66 para os dados observados) com respeito às defasagens imediatamente superior e inferior (Harzallah et alli, 1996; Aragão, 1996) (Figura 6.18). Isso indica que as informações de TSM do oceano Atlântico até 6 meses antes do início da estação chuvosa no n-NEB são mais importantes do que as do Pacífico para a previsão das anomalias de precipitação nessa região.

#### **6.6.3 - IMPACTO CONJUNTO DOS FENÔMENOS ENOS E DIPOLO DO ATLÂNTICO NO NEB**

Conforme já referido, quando as TSMs no Pacífico centro-leste equatorial estão acima do normal (eventos do fenômeno El Niño ou Índice de Oscilação do Sul negativo), a circulação troposférica equatorial zonal (Walker) é modificada fazendo com que os movimentos ascendentes sejam acelerados sobre o Pacífico com o aparecimento de um ramo anômalo descendente da Circulação de Walker sobre a Amazônia, n-NEB e oceano Atlântico adjacente (Aragão, 1986, 1996; Roucou et al., 1996), inibindo a formação de nuvens e causando as secas. Quando o contrário ocorre, ou seja, TSMs no Pacífico centro-leste equatorial mais frias do que o normal (eventos de Anti-El Niño ou Índice de Oscilação do Sul positivo), a circulação anômala de Walker acelera o movimento vertical ascendente sobre a Amazônia, n-NEB e oceano Atlântico

adjacente. A série histórica sobre os eventos de El Niño é longa (Quinn et alli, 1978) e pode-se correlacioná-la com as secas do n-NEB desde 1914, quando começou a observação sistemática de precipitação no NEB.

A Tabela 6.2 (Aragão, 1998a) relaciona os anos com anomalias negativas na precipitação total observada de Fevereiro a Maio no n-NEB, usando a média de área de 67 localidades, com referência aos episódios de El Niño. Dessa relação, pode observar-se os fatos seguintes: todos os episódios de El Niño moderados ou fortes que coincidiram com o inicial das séries de 13 anos tiveram como resposta um ano seco no n-NEB no mesmo ano ou no ano seguinte; todos os episódios fortes que coincidiram com o mínimo da série de 13 anos, com exceção de 1918 e 1957, tiveram um ano seco no mesmo ano e um ano muito seco no ano seguinte. No entanto, 1919 e 1958 foram anos muito secos.



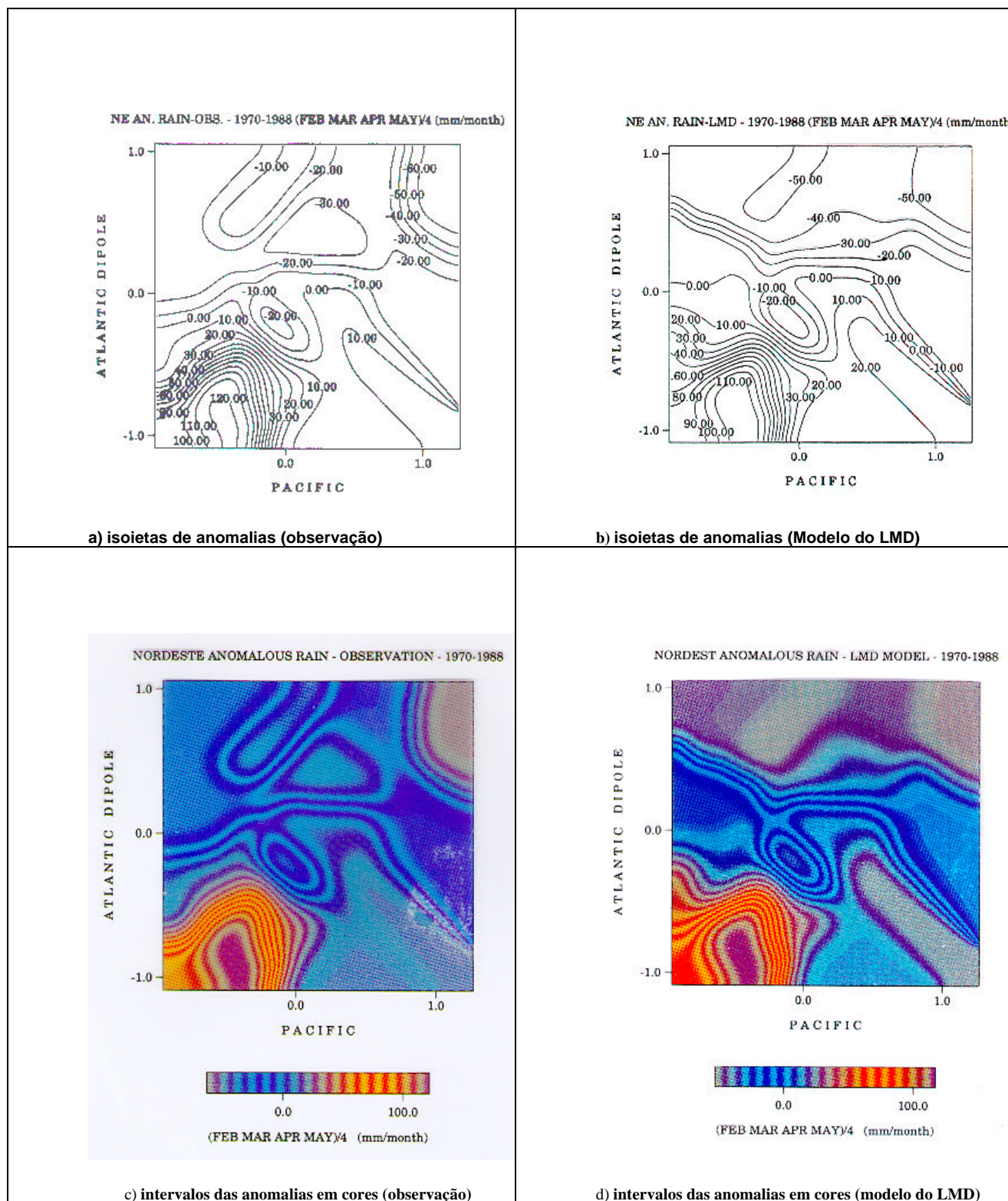


Figura 6.17 – Índice para inferir a precipitação total, no período de Fevereiro a Maio (mm/mês), no n-NEB, a partir das anomalias de TSM das regiões mostradas na figura 16 (Aragão et alli, 1996): a) isoietas de anomalias (observação); b) isoietas de anomalias (Modelo do LMD); c) intervalos das anomalias em cores (observação); d) intervalos das anomalias em cores (modelo do LMD)

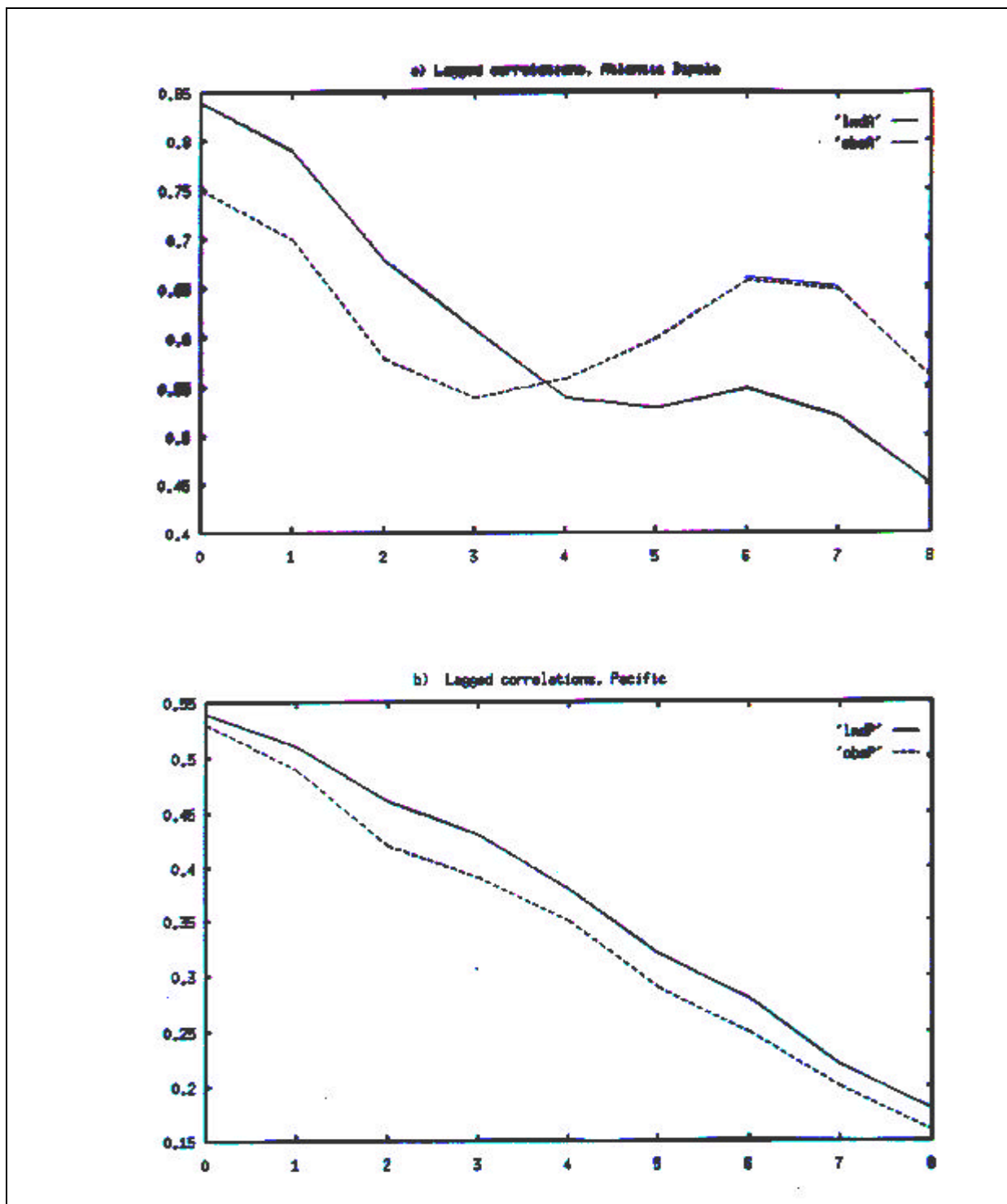


Figura 6.18 - Correlações defasadas no tempo entre as anomalias de precipitação no n-NEB, durante a estação chuvosa de Fevereiro a Maio, e as anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico com dados observados e modelados (modelo do LMD), respectivamente (Harzallah et alli, 1996; Aragão, 1996)



Os resultados de experiências com o modelo do LMD serviram de base ao cálculo de campos compostos de vento zonal, meridional e de velocidade vertical além de outros campos atmosféricos (Roucou et alli, 1996; Harzallah et alli, 1996; Aragão, 1996). Mudanças nas circulações de Hadley e Walker são observadas com subsidência anormal durante os anos secos e movimento ascendente anormal durante os anos úmidos sobre o NEB (Aragão et alli., 1994) (Figura 6.19). As flutuações interanuais na precipitação do NEB são devidas principalmente aos dois oceanos tropicais, Pacífico (ENOS) e Atlântico (Dipolo) com dois modos principais:

- Pacífico positivo (Pacífico quente) e Dipolo negativo (Atlântico Sul frio e Atlântico Norte quente) correspondendo a episódios de seca;
- Pacífico negativo (Pacífico frio) e Dipolo positivo (Atlântico Sul quente e Atlântico Norte frio) correspondente a anos com excesso de chuva.

Os períodos de duração das secas e enchentes vai depender do período de atuação, duração, intensidade e cobertura do ENOS (ou LNOS) e do Dipolo do Atlântico.

Tabela 6.2 – Anos classificados segundo as anomalias na precipitação total observada de fevereiro a maio no norte semi-árido do Nordeste do Brasil (n-NEB) (média de área de 67 estações), com indicação dos anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos, os anos de mínimos valores na precipitação com a série agrupada para períodos de 13 anos, os episódios de El Niño e os anos secos com relação a esses episódios (0 = seco, no mesmo ano do início do episódio; +1 = seco, no ano seguinte ao início do episódio; +2 = seco, dois anos após o início do episódio)

EPISÓDIOS DE EL NIÑO (M. FRACOS, FRACOS, MODERADOS E FORTES)	ANOS SECOS	ANOS NORMAIS	ANOS CHUVOSOS	ANO SECO COM RELAÇÃO AO EL NIÑO
**** 1919				
1914 MODERADO	1914* 1915*	1916	1917	0 +1
1917 FRACO		1918		
1918 FORTE	1919*	1920	1921	+1 +2
		1922		
1923 FRACO		1923	1924 **	
1925 FORTE		1925		
**** 1932				
		1927	1926 **	
1929 MODERADO	1928 1930 1931		1929	+1
1932 FRACO	1932*	1933		+2 0 +3
	1936		1934 1935 **	
		1937 1938		

Tabela 6.2 (continuação)

EPISÓDIOS DE EL NIÑO (M. FRACOS, FRACOS, MODERADOS E FORTES)	ANOS SECOS	ANOS NORMAIS	ANOS CHUVOSOS	ANO SECO COM RELAÇÃO AO EL NIÑO
*****1945				
1939 MODERADO		1939		
		1940 **		
1941 FORTE		1941		
1942				+1
1943 FRACO	1943			0 +2
	1944			+1 +3
			1945	
1946 MUITO FRACO	1946			0
			1947	
1948 MUITO FRACO		1948		
		1949		
		1950		
1951 FRACO	1951*			0
*****1958				
	1952			+1
1953 MODERADO	1953*			0 +2
	1954			+1
	1955			+2
		1956		
1957 FORTE		1957		
	1958*			+1
	1959			+2
			1960	
		1961		
		1962		
1963 MUITO FRACO		1963		
			1964 **	
*****1971				
1965 MODERADO		1965		
		1966		
			1967**	
1969 FRACO		1969		
	1970*			0
		1971		
1972 MODERADO	1972			0
		1973		
			1974**	
			1975	
1976 FRACO		1976		
		1977		

Tabela 6.2 (continuação)

EPISÓDIOS DE EL NIÑO (M. FRACOS, FRACOS, MODERADOS E FORTES)	ANOS SECOS	ANOS NORMAIS	ANOS CHUVOSOS	ANO SECO COM RELAÇÃO AO EL NIÑO	
*****1984					
1979 FRACO	1979	1978		0	
		1980			
1982 FORTE	1982	1981		0	
	1983*				+1
1986 FRACO			1984		
1987 MODERADO		1987	1985**		
		1988	1986		
			1989		
*****1997					
1991 MODERADO		1990			
1992 FRACO	1992	1991		0	+1
	1993*			+1	+2
		1994			
		1995			
1997 FORTE	1997	1996		0	
	1998*				+1
2010 (???????)					

Observação: \* anos muito secos \*\* anos muito chuvosos

\*\*\*\*\* grupos de anos em referência ao mínimo no período de 13 anos

Evidentemente, para uma boa análise da variação da precipitação tropical, além dos dados históricos, é necessário o monitoramento dos parâmetros atmosféricos e oceânicos. Estudos recentes (Aragão, 1996, Harzallah et al., 1996) mostram que informações com até seis meses de antecedência podem dar uma indicação da qualidade da estação chuvosa de fevereiro a maio sobre o n-NEB, especialmente nos casos extremos de secas severas ou chuvas em excesso. No entanto, quando não existe uma boa definição dos fenômenos de Dipolo do Atlântico ou ENOS, essa análise deve ser considerada com o máximo cuidado.

## 6.7 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os organismos estaduais, nacionais e internacionais de meteorologia têm tido êxito nas previsões dos ciclos do fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS), por meio de simulações (modelos) de evolução solidária dos fenômenos físicos da interface oceano-atmosfera. Assim, vários modelos de previsão de tempo e de previsão climática para o Brasil e o NEB já estão operacionais.

No Brasil, o Centro de Previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem trabalhando com modelos de previsão

numérica de tempo, de curto e de médio prazos, em escalas regional e global (veja Figura 6.20), os quais necessitam de aferição e aprimoramento por meio do “feed back” observacional em tempo real. Esses modelos são utilizados para as previsões do tempo e climáticas e permitem previsões com cerca de 80% de acerto, após interpretação dos resultados por meteorologistas especializados em sinótica-dinâmica e utilizando-se os dados históricos das evoluções dos episódios ENOS e Dipolo do Atlântico. Os modelos globais e regionais necessitam das informações de estações sinóticas que coletam os parâmetros meteorológicos de superfície e de altitude indispensáveis à inicialização dos mesmos a partir de um determinado horário. A melhoria das previsões dependerá tanto da reconstituição da rede meteorológica básica, como da modernização dessa rede com a instalação de estações em locais desprovidos de observação, como é o caso dos oceanos e da floresta amazônica.

Assim, os resultados dos modelos e o conhecimento sobre o Atlântico tropical (Dipolo do Atlântico), conjuntamente com as informações sobre o ENOS/LNOS, permite elaborar uma previsão sobre a qualidade da precipitação do n-NEB e, com menos precisão, sobre as chuvas na Zona da Mata e Litoral leste do NEB, sul da Bahia e norte de Minas Gerais. Para o n-NEB, pode-se fazer uma previsão climática a partir de Dezembro, para o conjunto de três ou mais meses no futuro, dependendo das informações no Atlântico e no Pacífico, dos modelos estatísticos, dinâmicos estatísticos e numéricos (oceano, atmosfera e acoplados), e definir o conjunto de meses em muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Quando os fenômenos no Atlântico e no Pacífico são muito intensos (caso do El Niño 1997/98), essa previsão pode ser feita a partir de Agosto para o conjunto de quatro meses Fevereiro-Maio do ano seguinte com um acerto de 80%, acerto esse que vai aumentando à medida que a previsão é refeita mês a mês, até o início do ano. A confiabilidade dessas previsões pode chegar até a 90%, na dependência de definições acentuadas dos parâmetros envolvidos, para os casos anômalos extremos (casos de chuvas bem acima da normal ou nos casos de secas severas)

No entanto, ainda não existem modelos operacionais para prognósticos confiáveis para as seguintes regiões: a faixa costeira ao leste do NEB, de climas úmidos e semi-úmidos, como é o caso da Zona da Mata e litoral, do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia; o centro-sul e oeste da Bahia; e o norte de Minas Gerais.

Estudos recentes demonstram a importância da direção dos ventos dominantes à superfície; do posicionamento da Alta do Atlântico Sul; e da TSM no Atlântico tropical (Dipolo), além do fenômeno ENOS/LNOS, na definição da estação chuvosa dessas regiões.

Visando a possibilidade da elaboração de uma previsão climática quantitativa da precipitação no NEB e no Brasil tropical, existe a necessidade de monitoramento dos parâmetros oceânicos e atmosféricos através de imagens de satélite, modelos de grande e mesoescala, e da precipitação sobre o NEB e regiões adjacentes, em tempo real. Para tanto, tornar-se-á necessário a instalação de estações meteorológicas automáticas e aerológicas em pontos estratégicos. Além disso, evidentemente, os meteorologistas envolvidos na interpretação das condições sinóticas e dos resultados dos modelos precisam ser treinados em técnicas de modelagem, como, também, nos diversos sistemas meteorológicos que atuam na atmosfera.

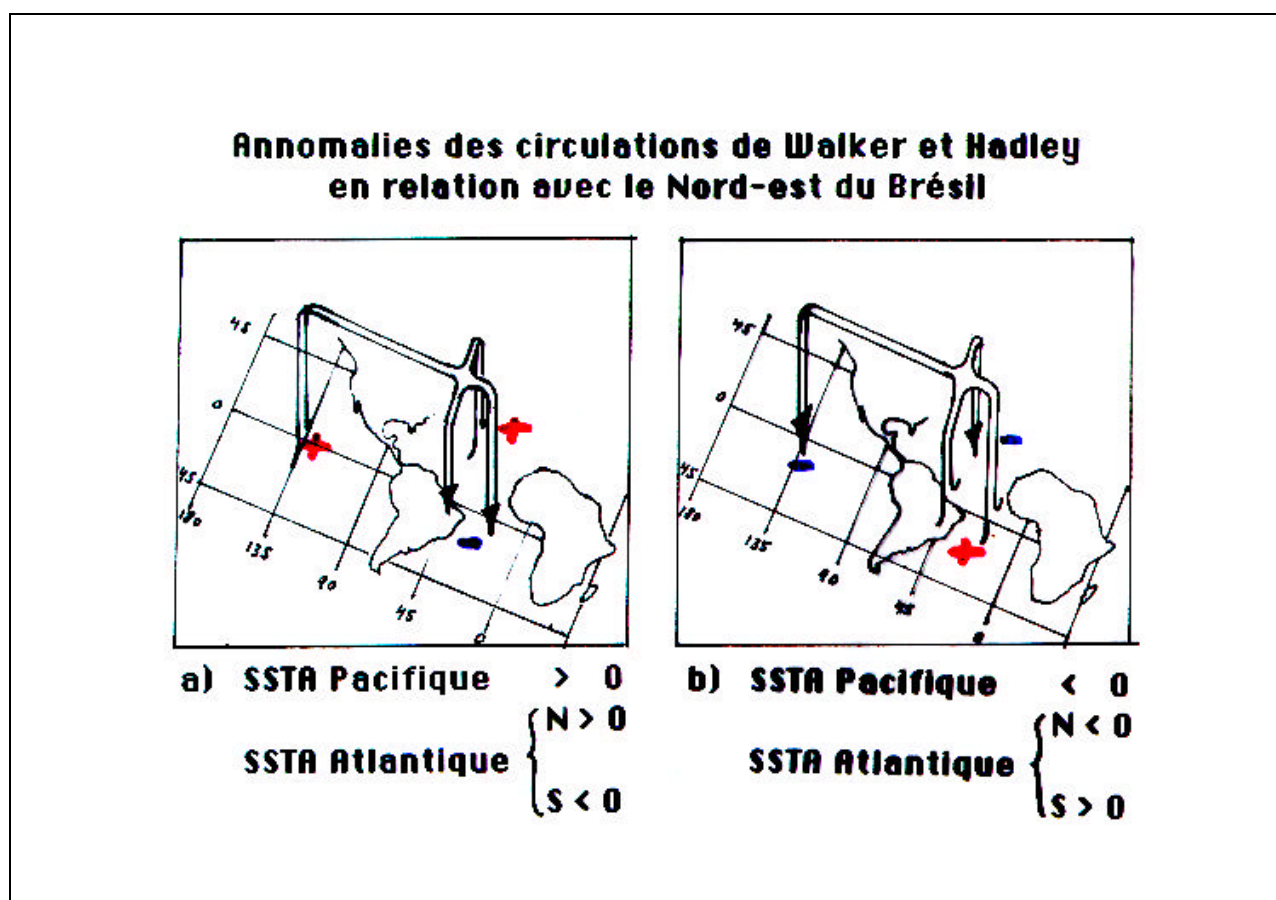


Figura 6.19 – Esquemas das circulações de Hadley e Walker anômalas durante as fases dos fenômenos ENOS/LNOS e Dipolo do Atlântico

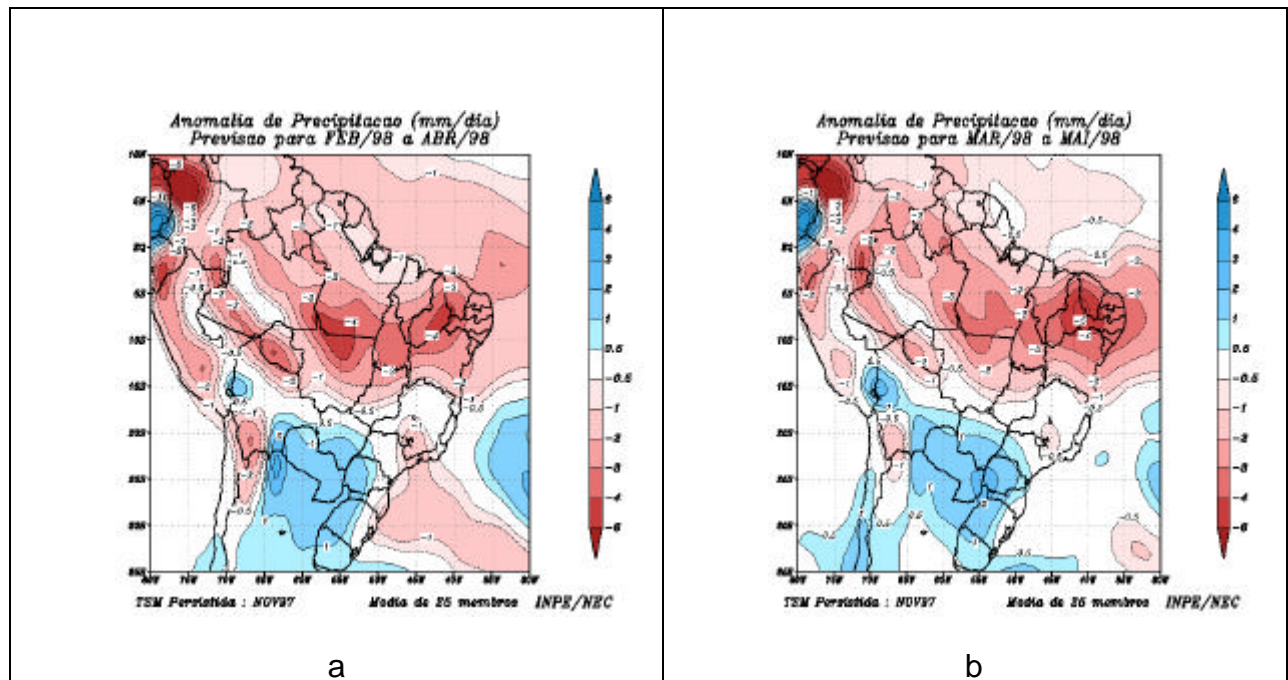


Figura 6.20 - Resultado do modelo do CPTEC para o trimestre fevereiro - abril de 1998 (a) e para o trimestre de março a maio de 1998 (b), com TSM persistida de novembro de 1997, após a composição de 26 experimentos com condições iniciais diferentes