

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM**

PROJETO

*“Disponibilidade Hídrica do Brasil – Estudos de
Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras”*

REGIONALIZAÇÃO DA Q95% NA SUB-BACIA 39

**Executado pelo SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Superintendência Regional de Recife – SUREG-RE**

**RECIFE
Novembro/2011**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Edison Lobão

Secretário Executivo

Márcio Pereira Zimmermann

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA,
MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Claudio Scliar

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Claudio Scliar

Vice-Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto

Conselheiros

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Ladice Pontes Peixoto

Luiz Gonzaga Baião

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Thales de Queiroz Sampaio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antonio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena da Silva

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Divisão de Hidrologia Aplicada

Achiles Eduardo Guerra Castro Monteiro

**PROJETO ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

Coordenação Executiva

Marta Vasconcelos Ottoni-ERJ

Adriana Dantas Medeiro-ERJ

Apoio

Lígia Maria Nascimento de Araújo - ANA

Consultora Externa

Jane Cortês Tavares

Consultora Externa

**REGIONALIZAÇÃO DA Q95% NAS BACIAS LITORÂNEAS DE
PERNAMBUCO E ALAGOAS – SUB-BACIA 39**

Superintendente Regional

José Wilson de Castro Temóteo - SUREG-RE

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Adriano da Silva Santos - SUREG-RE

Execução Técnica

Keyla Almeida dos Santos – SUREG-RE

Pesquisadora em Geociências

Apoio Técnico – SUREG-RE

André Bezerra Magalhães

Estagiário em Engenharia Civil

Carlos Eduardo de Souza Lima

Estagiário em Engenharia Civil

Waldir Duarte Costa Filho

Pesquisador em Geociências, M. Sc.

*Ana Cláudia de Aguiar Accioly
Pesquisadora em Geociências, D.Sc.*

*Margarida Regueira da Costa
Pesquisadora em Geociências, D.Sc.*

*Rogério Valença Ferreira
Pesquisador em Geociências, D. Sc.*

Apoio Técnico – ERJ

*Marta Vasconcelos Ottoni
Pesquisadora em Geociências*

*Marlon Giovanni Lopes Alvarez
Estagiário em Engenharia Civil*

Colaboradores – SUREG-RE

Técnicos do Laboratório de Geoprocessamento

Adriano da Silva Santos

Robson de Carlo da Silva

Sidney Renan Moraes Barbosa

Rafael Diego Diniz B. de Albuquerque

Rodrigo Tadeu Diniz Bezerra de Albuquerque

Solange Cavalcanti de Melo

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO.....	3
2.1 – FISIOGRAFIA	4
2.2 – GEOLOGIA	8
2.3 – HIDROGEOLOGIA	10
2.4 – SOLOS	14
2.5 – COBERTURA VEGETAL	17
2.6 – CLIMA E REGIME HIDROLÓGICO.....	21
3 – METODOLOGIA	27
4 – COLETA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS	29
4.1 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS	29
4.2 – DADOS FLUVIOMÉTRICOS	30
4.2.1 – Diagnóstico da rede fluviométrica existente	31
4.2.2 – Análise da qualidade e consistência	32
4.2.3 – Análise estatística e seleção das estações para estudo.....	34
5 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	36
6 – REGIONALIZAÇÃO DA Q95% DA CURVA DE PERMANÊNCIA.....	38
6.1 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES DIÁRIAS	39
6.2 – INDICADORES DA VARIABILIDADE REGIONAL	41
6.3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS VAZÕES Q95%	42
6.4 – REGIÕES HOMOGÊNEAS E FUNÇÕES REGIONAIS	46
6.5 – APLICAÇÃO DOS RESULTADOS	48
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ANEXOS

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS

- ANEXO A1 – Perfil longitudinal
- ANEXO A2 – Diagrama unifilar
- ANEXO A3 – Mapa da rede hidrometeorológica

ANEXO B – DADOS PLUVIOMÉTRICOS

- ANEXO B1 – Inventário das estações pluviométricas
- ANEXO B2 – Período de dados das estações pluviométricas utilizadas no estudo de determinação das isoietas totais anuais
- ANEXO B3 – Representação das isoietas anuais

ANEXO C – DADOS FLUVIOMÉTRICOS

- ANEXO C1 – Inventário das estações fluviométricas
- ANEXO C2 – Disponibilidade de dados fluviométricos
- ANEXO C3 – Estatística da disponibilidade de dados fluviométricos
- ANEXO C4 – Recomendações mínimas da OMM para redes fluviométricas
- ANEXO C5 – Critérios para atribuição de qualidade às estações
- ANEXO C6 – Notas atribuídas às estações da Bacia 39
- ANEXO C7 – Estatística das notas atribuídas às estações
- ANEXO C8 – Verificação da continuidade das vazões médias de longo período
- ANEXO C9 – Verificação da continuidade das vazões de 95% de permanência
- ANEXO C10 – Mapa das estações pré-selecionadas para o estudo de regionalização
- ANEXO C11 – Hidrograma conjunto das estações de mesma localização
- ANEXO C12 – Inventário dos reservatórios

ANEXO D – ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES DE VAZÕES

- ANEXO D1 – Vazão média anual
- ANEXO D2 – Vazão anual da Q95%
- ANEXO D3 – Tabela de análise das estacionariedade

ANEXO E – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS

- ANEXO E1 – Características físicas e climáticas – variáveis explicativas

ANEXO F – REGIONALIZAÇÃO DA Q95 DA CURVA DE PERMANÊNCIA

ANEXO F1 – Curvas de permanência

ANEXO F2 – Relação das estações com suas respectivas Q50% e Q95%

ANEXO F3 – Características físicas e indicadores regionais

ANEXO F4 – Análise de regressão da vazão de 95% de permanência

ANEXO G – MAPA DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

ANEXO H – MAPA DAS ESTAÇÕES PROPOSTAS

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1** – Localização da Sub-Bacia 39
- Figura 2.2** – Fisiografia da Sub-Bacia 39
- Figura 2.3** – Geologia da Sub-Bacia 39
- Figura 2.4** – Hidrogeologia da Sub-Bacia 39
- Figura 2.5** – Solos da Sub-Bacia 39
- Figura 2.6** – Vegetação da Sub-Bacia 39
- Figura 2.7** – Mesorregiões da Sub-Bacia 39 (Classificação do IBGE)
- Figura 2.8** – Precipitações médias mensais em Pirapama (Zona da Mata), Limoeiro(Agreste) e Sanharó (Sertão)
- Figura 2.9** – Precipitações médias anuais em Pirapama (Zona da Mata), Limoeiro (Agreste) e Sanharó (Sertão)
- Figura 2.10** – Vazões médias mensais em Toritama, Limoeiro, Paudalho e São Lourenço da Mata
- Figura 2.11** – Vazões médias anuais em Toritama, Limoeiro, Paudalho e São Lourenço da Mata.
- Figura 6.1** – Índice rcp95 x Área de Drenagem (estações no Litoral)
- Figura 6.2** – Índice rcp95 x Área de Drenagem (estações no Agreste)
- Figura 6.3** – Vazão mínima de referência x Área de Drenagem (km²)
- Figura 6.4** – Vazão mínima de referência x Precipitação média anual (mm)
- Figura 6.5** – Vazão específica mínima de referência x Precipitação média anual (mm)

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1** – Densidade da rede fluviométrica X Recomendações OMM
- Tabela 4.2** – Estação fluviométrica com séries de dados complementares
- Tabela 6.1** – Relação das estações utilizadas no estudo de regionalização
- Tabela 6.2** – Equações de regressão regionais para as Q95

LISTA DE ABREVIACÕES

A – Área de Drenagem

ANA – Agência Nacional de Águas;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMAT – Centrais Elétricas do Mato Grosso

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte S.A

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ERM – Erro Relativo Médio

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Kc – Coeficiente de Compacidade

Kf – Coeficiente de Forma

OMM – Organização Mundial de Meteorologia

P – Precipitação Total Anual Média

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

Q50% - Vazão de 50% da curva de permanência

Q95% - Vazão de 95% da curva de permanência

QMLT – Vazão Média de Longo Termo

RHTA – Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia

SEMA-MT – Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso

SERRA NEGRA - Consórcio Serra Negra Energética

SIMEGO – Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola e na adoção de políticas públicas.

A água doce encontra-se disponível na forma superficial, nos rios e lagos, e na subsuperficial, nos lençóis e aquíferos da zona saturada dos terrenos (composto por solos e formações geológicas permeáveis) e na faixa não saturada dos solos, também chamada zona vadosa. Em termos de distribuição de água doce no planeta, excluindo o gelo, aproximadamente, 98% está na forma de água subterrânea (zona saturada dos terrenos), 0,8% contida como umidade da zona vadosa, 0,01% em rios e 1,47% em lagos.

No que se refere à disponibilidade hídrica superficial de uma bacia esta é usualmente medida pela vazão mínima de sete dias de duração com tempo de recorrência de 10 anos (Q7,10) ou pela vazão com 95% de permanência no tempo (Q95%), ambas vazões mínimas e de referência para concessão de outorga de direito de uso da água. Essas variáveis são determinadas com base nas séries de vazões naturais ou reais, que são definidas em função da monitoração efetuada nas estações fluviométricas, cuja rede apresenta baixa densidade no território nacional não abrangendo, na maioria das vezes, bacias de pequeno porte. No caso das bacias sem monitoração, adota-se a técnica da regionalização, que objetiva, dentre outros aspectos, transferir informações daquelas regiões onde são realizadas monitorações para as áreas ainda carentes de dados. Desta forma, é possível caracterizar a disponibilidade de água doce superficial no Brasil, destacando que o sucesso desta caracterização está diretamente vinculado à quantidade e qualidade dos dados disponíveis.

No contexto dos estudos de regionalização, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em convênio com diversas entidades, dentre elas a CPRM, empreendeu em 2001, os Estudos de Regionalização de Variáveis Hidrológicas para várias sub-bacias hidrográficas brasileiras. Aqueles estudos abrangeram as vazões médias anuais e de longo período, máximas e mínimas e da curva de permanência e de regularização. Tendo em vista a recomendação que a cada 5 anos de novos dados sejam atualizados esses estudos, em 2009, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM deu início ao projeto intitulado “Disponibilidade Hídrica do Brasil - Estudo de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras”. Esse projeto, além de complementar os estudos anteriores com dados mais recentes, apenas para a variável de

referência de estiagem, no caso a Q95%, se propõe a estender essa pesquisa para as demais bacias hidrográficas brasileiras não avaliadas no estudo de 2001, a fim de caracterizar a disponibilidade hídrica superficial do território nacional. O presente relatório é parte integrante desse trabalho maior.

A importância desses estudos de regionalização de vazões não se deve apenas ao fato de serem capazes de espacializar as informações hidrológicas, mas também por identificar aquelas áreas que necessitam de melhoria da rede hidrometeorológica, seja pela instalação de novas ou relocação de estações existentes. Além disso, podem fornecer um diagnóstico da qualidade dos dados das estações, funcionando como ferramenta de auxílio à análise de consistência dos dados. Seus resultados auxiliam a estimativa de vazões disponíveis para projetos de irrigação, de pequenas centrais hidrelétricas, além de subsidiar a outorga do uso da água, sendo também informações fundamentais aos estudos de Zoneamento Ecológico Econômico.

O projeto “Disponibilidade Hídrica do Brasil: Estudo de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras” prevê diversas fases até sua conclusão. As sub-bacias contempladas em sua primeira fase são: 16 (Rio Amazonas, Trombetas e Outros), 24 (Alto Araguaia), 33 (Itapecuru, Mearim, Munim e outros), 39 (Litorâneas de Pernambuco e Alagoas), 42 (Paracatu, Jequitáí e Tapuí), 50 (Itapicuru, Vaza Barris e outros), 55 (São Mateus, Itanhém e outros), 58 (rio Paraíba do Sul) e 88 (Jaguarão, Lagoa Mirim e outros). Outras bacias serão avaliadas nas demais etapas do projeto. Desta primeira fase somente as sub-bacias 16, 42 e 50 não foram estudadas pela CPRM em 2001.

Finalmente, a disponibilidade hídrica superficial de bacias hidrográficas estimada com base em técnicas de regionalização de vazões constitui uma ferramenta de uso abrangente. No entanto, deve ser usada dentro das restrições de uso recomendadas e não substitui as medições reais de vazão. Por isso, destaque deve ser dado à ampliação da rede hidrometeorológica em bacias de diferentes tamanhos, para que com isso seja conhecida, de forma ampla e precisa, a disponibilidade de recursos hídricos no Brasil.

O estudo aqui apresentado propõe uma regionalização da Q95% para a Sub-Bacia 39, região que engloba parte da porção litorânea do estado da Paraíba e a costa dos estados de Pernambuco e Alagoas, considerando os trabalhos desenvolvidos em 2001.

O texto deste volume encontra-se dividido em oito capítulos. Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais e objetivos do presente trabalho. No capítulo dois são descritas as características gerais da área em estudo, especificamente sua localização, os solos, vegetação, geologia e hidrogeologia, relevo, clima e regime hidrológico. Já no capítulo três,

quatro e cinco são apresentados os procedimentos metodológicos para consecução dos objetivos propostos, sendo no capítulo seis descritos os resultados desse estudo, com a apresentação das regiões homogêneas da Sub-Bacia 39 e suas correspondentes equações regionais da Q95%. Finalmente no capítulo sete são apresentadas as conclusões e recomendações deste trabalho e no oito as referências bibliográficas.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

A região em estudo constitui as bacias hidrográficas dos rios que drenam para o oceano Atlântico no trecho entre a foz do rio Paraíba e a foz do rio São Francisco e é classificada pelo extinto DNAEE, hoje ANEEL, como Sub-Bacia 39. Situa-se entre os paralelos sul 7°15' e 10°30', e os meridianos de longitude oeste 34°50' e 37°00' (**Figura 2.1**). Ocupa uma superfície total de 45.000km², das quais 66% pertencem ao estado de Pernambuco, 31% a Alagoas e 3% a Paraíba.

A área analisada é densamente povoada, englobando as Regiões Metropolitanas de Recife e Maceió. Grande parte da área estudada apresenta clima semiárido com rios intermitentes que só apresentam escoamento superficial após chuva de média ou grande intensidade. A região mais próxima ao litoral conhecida como Zona da Mata tem climas úmidos e altos índices pluviométricos, e seus rios são perenes.

A parte ocidental da bacia é utilizada predominantemente para criação de animais, enquanto na sua parte oriental predomina o cultivo da cana-de-açúcar.

Os rios da região apresentam problemas de degradação ambiental em consequência dos despejos domésticos e industriais. Há ainda graves problemas de abastecimento público.

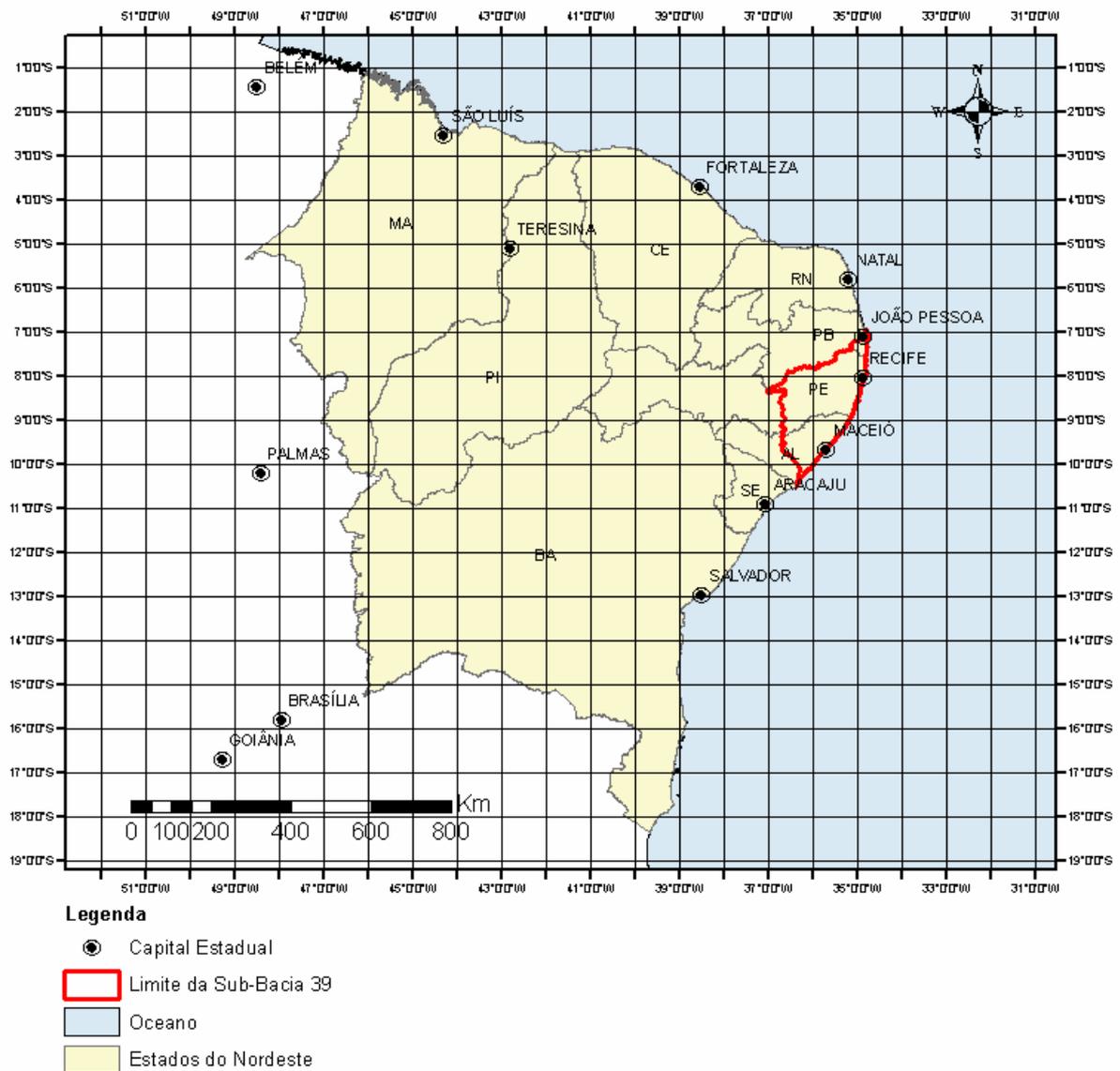


Figura 2.1 - Localização da Sub-Bacia 39 na Região Nordeste do Brasil

2.1 FISIOGRAFIA

A região é constituída por diversas bacias hidrográficas (**Figura 2.2**), tendo no Estado de Pernambuco, as de maior extensão geográfica. São elas: Bacia do Rio Capibaribe com área aproximada de 7.400 km², a Bacia do Rio Ipojuca com área aproximada de 3.400 km² e a Bacia do Rio Una que tem uma área aproximada de 6.700 km².

As bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca e Una tem comportamento diferente, pois estão localizadas em sua maior parte na região semiárida. As bacias dos rios Goiana, Mundaú, Paraíba e Coruripe situam-se predominantemente em regiões úmidas. Já as bacias dos rios Pirapama, Sirinhaém e Camaragibe situam-se totalmente em regiões úmidas. Praticamente todos os rios correm no sentido de oeste para leste.

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe está localizada na porção norte oriental do Estado de Pernambuco, entre os paralelos sul 7°04'20" e 8°19'30" e os meridianos de longitude oeste 34°51'00" e 36°41'58". O Rio Capibaribe nasce na Serra da Serraria, divisa de PE/PB, a 1.050m de altitude e deságua no Oceano Atlântico. Tem 280 km de extensão, sendo a maior bacia hidrográfica do agreste pernambucano com uma área de 7.400km². Apresenta regime fluvial intermitente até o seu curso médio e somente a partir da cidade de Limoeiro, no seu baixo curso, torna-se perene. Recebe afluentes importantes como o rio Tapacurá com 66 km e o rio Goitá também com 66 km, ambos no município de Limoeiro.

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca localiza-se em sua totalidade no Estado de Pernambuco, entre as latitudes sul 8°09'50" e 8°40'20" e os meridianos de longitude oeste 34°57'52" e 37°02'48". Limita-se ao norte com a bacia hidrográfica do rio Capibaribe; ao sul com as bacias hidrográficas dos rios Una e Sirinhaém. Nasce nas encostas da serra do Pau D'arco, no município de Arcoverde, a uma altitude de 900m, com 322 km de extensão, sendo seu regime fluvial intermitente, tornando-se perene a partir do seu médio curso, nas proximidades da cidade de Caruaru. Seu afluente mais importante, o riacho Liberal, nasce nas encostas da serra do Buco, município de Venturosa, a uma altitude aproximada de 1.000m. Sua área de drenagem é de aproximadamente 3.400km²

A bacia hidrográfica do rio Una está localizada no limite sul do litoral do Estado de Pernambuco, entre as latitudes sul 8°17'14" e 8°55'28" e os meridianos de longitude oeste 35°07'48" e 36°42'10". Nasce na serra da Boa Vista no município de Capoeiras, a uma altitude de aproximadamente 900m e percorre uma extensão aproximada de 290 km. O rio Una é intermitente até aproximadamente a cidade de Altinho e a partir daí torna-se perene. Sua área de drenagem é de 6.700 km². Seus principais afluentes são o rio Piranji e rio Jacuípe.

A bacia hidrográfica do rio Goiana está localizada na porção norte oriental do Estado de Pernambuco, entre as latitudes sul 7°22'20" e 7°54'47" e os meridianos de longitude oeste 34°49'06" e 35°41'43". O rio Goiana é formado a partir da confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém e após percorrer 18 km de extensão deságua no Oceano Atlântico. O rio Tracunhaém nasce na Serra Verde, no município de Orobó e tem uma extensão de 126,3 km. O rio Capibaribe-Mirim tem uma extensão de 93,7 km, sendo o contribuinte mais importante por drenar a maior parte da bacia. Nasce a uma altitude de 700m nos contrafortes da Serra Pirauá, no município de São Vicente Ferrer. A bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta uma área de 2.835 km².

A bacia hidrográfica do rio Sirinhaém está localizada entre as latitudes sul 8°16'05" e 8°44'50", e os meridianos de longitude oeste 35°01'00" e 35°47'58". Limita-se ao norte com a

bacia do Ipojuca; ao sul com a bacia do Una e a leste com o Oceano Atlântico. Nasce nas encostas da serra do Alho, município de Camocim de São Félix, a uma altitude aproximada de 800m. O rio Sirinhaém percorre uma distância de 152,3 km, desaguando no Oceano Atlântico. A área de drenagem é de 2.086 km². O rio Amaragi, afluente mais importante do Sirinhaém, tem suas nascentes no município de Cortês, a uma altitude aproximada de 500m. Seus principais afluentes são os rio Camaragibe, rio Taperuçu e rio Sabiró.

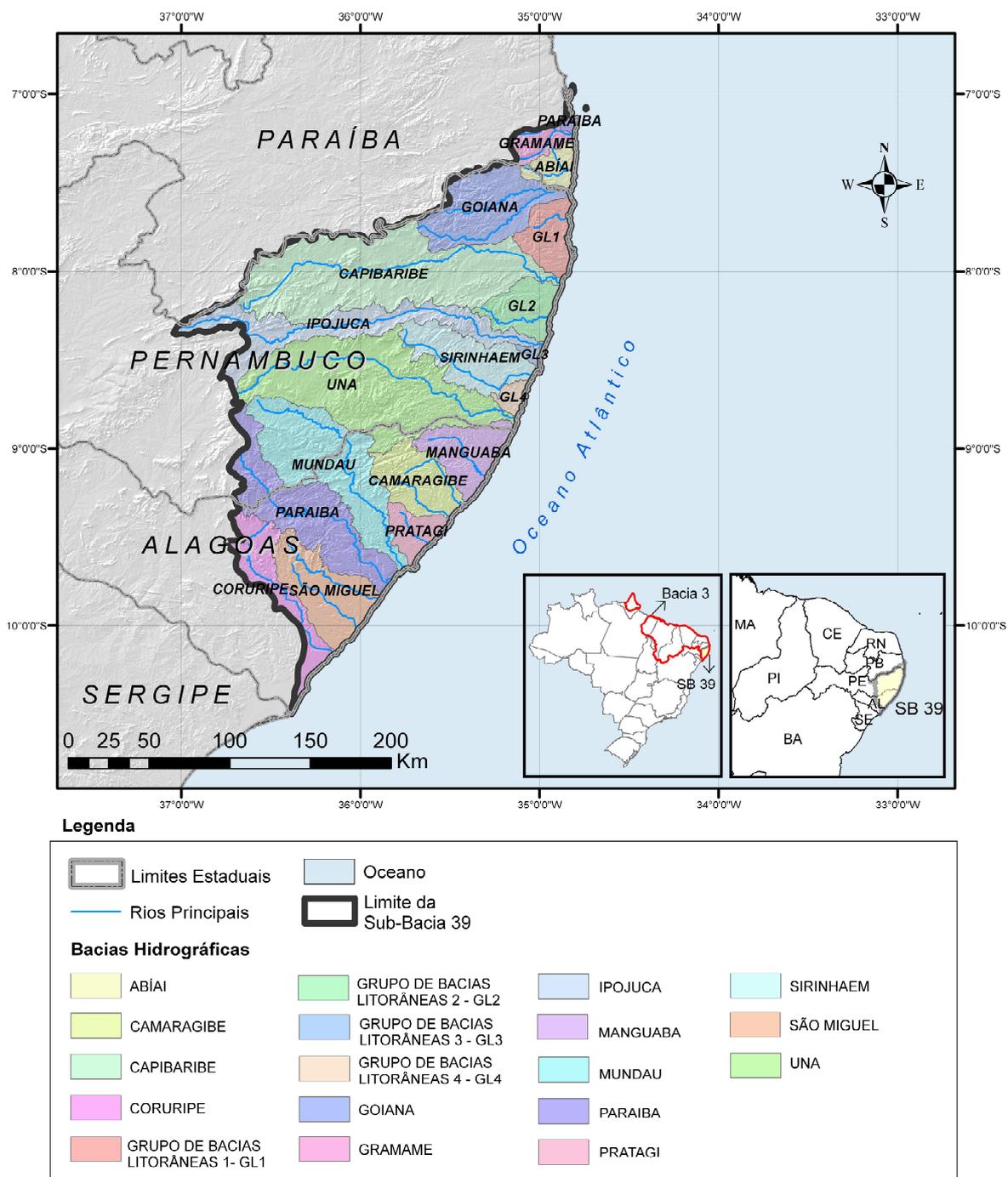


Figura 2.2 - Fisiografia da Sub-Bacia 39

No estado de Alagoas as principais bacias hidrográficas são as dos rios Mundaú, Paraíba, Coruripe e Camaragibe.

A bacia hidrográfica do rio Mundaú está localizada entre as latitudes sul 8°48'11" e 9°40'23" e os meridianos de longitude oeste 36°37'52" e 35°43'44", abrangendo uma área total de 4.218 km², sendo 52,2% no Estado de Pernambuco e 47,8% em Alagoas. O rio Mundaú tem nascente em Pernambuco e seu exutório na lagoa do Mundaú, em Alagoas, caracterizando-o como um rio federal. Percorre uma distância de 182,6 km de extensão e seu principal afluente é o rio Canhoto.

A bacia hidrográfica do rio São Miguel, com uma área de drenagem de 2.328 km², tem seu escoamento no sentido sudeste e sua foz no Oceano Atlântico. O rio São Miguel nasce nas proximidades da sede de Mar Vermelho, a uma altitude de aproximadamente 542 m, tendo aproximadamente 99 km de extensão. As declividades mais acentuadas ocorrem no trecho inicial com um desnível de 447 m em 20 km de extensão.

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio tem uma área de drenagem de 3.817 km². O rio Paraíba do Meio nasce no município de Saloá, Pernambuco, percorrendo 201,2 km de extensão até desaguar na lagoa Manguaba no estado de Alagoas.

A bacia hidrográfica do rio Coruripe ocupa o centro-leste da microrregião homogênea de Palmeira dos Índios, o centro-leste da microrregião homogênea de Arapiraca, e, a parte sul da microrregião homogênea dos tabuleiros de São Miguel dos Campos, banhando a zona fisiográfica do agreste subúmido para o agreste úmido, fazendo parte da zona da mata. O rio Coruripe, chamado pelos Índios Caetés de Cururugi, que dá nome à bacia hidrográfica, possui uma área de drenagem de 1.949 Km², contida em sua totalidade em território alagoano, ou seja, o manancial é um rio de domínio estadual. As nascentes principais localizam-se próximas à cidade de Palmeira dos Índios, numa altitude aproximada de 500m, em relação ao nível médio do mar, e deságua no oceano atlântico, após margear a cidade de Coruripe, nas proximidades da Usina Coruripe.

A bacia hidrográfica do rio Camaragibe tem uma área de drenagem de 932,3 km², inseridas em sua totalidade, em território alagoano. As nascentes do rio Camaragibe estão situadas entre 500 e 600 m de altitude, em duas serras importantes da região norte do Estado: Serra da Palha e Serra Galho do Meio, próximo à divisa entre os Estados de Alagoas e Pernambuco. Essa região se caracteriza por possuir grandes desníveis topográficos.

No **ANEXO A1** são apresentados os perfis longitudinais dos principais rios situados na Sub-Bacia 39, nos quais estão identificadas algumas de suas estações fluviométricas e reservatórios.

2.2 GEOLOGIA

A área da sub-bacia estudada é representada, geologicamente, por rochas de litologias e idades variadas, entre as ígneas, metamórficas e sedimentares, que constituem, sob o ponto de vista estratigráfico, formações, grupos e complexos, além de unidades de ortognaisses, distribuídas no tempo geológico do Arqueano ao Quaternário e dispostas espacialmente conforme mapa geológico simplificado da **Figura 2.3**.

As rochas mais antigas, de idade Arqueana a Proterozóica (A), são representadas por ortognaisses, granitóides granodioríticos a monzograníticos (unidades AP_gamma_bc, An e Ang).

As rochas de idade Paleoproterozóica (PPg) estão associadas tanto a Complexos dominantemente ortoderivados (gnaisses granodioríticos / graníticos – PPg), englobando as unidades PP2bf, PM_delta_p, PM_gamma_c, PP3pa e PP_gamma_s, quanto a Complexos Metassedimentares (PPs) representados por paragnaisses, paramigmatitos, granada-biotita gnaisses, mármore e quartzitos (unidade PP2se).

As rochas de idade Mesoproterozóica constituem-se por Complexos de predomínio metassedimentar (MPs), porém com metavulcânicas associadas, representados por metacalcário, ortoanfibolito, xisto, gnaisse, rocha calcissilicática, rocha metaultramáfica, formação ferrífera bandada, metagrauvaca, metavulcanoclástica, metavulcânica intermediária a máfica, paragnaisse (unidades MNsc, MP3mr1, MPca2 e MPve); e por rochas ortognáissicas dominantemente graníticas (ou Metagranitóides - MPg) compostas por metagranitóide, leucogranito, metatonalito, ortognaisse, metagranito, metagranodiorito, metamonzodiorito, metassienogranito e augengnaisse.

As rochas de idade Neoproterozóica são ora dominantemente metassedimentares (NPs) compostas principalmente por xistos (unidades NPM1 e NPM2); e ora por uma série de rochas graníticas “*sensu lato*” (NPg) compostas por granito, quartzo diorito, monzogranito, granodiorito, biotita granito, biotita sienogranito, tonalito, granito porfirítico, sienogranito, quartzo monzonito e anfibolito (unidades NP2_delta, NP3_gamma_2cr, NP3_gamma_2x, NP3_gamma_3i, NP3_gamma_3sb e NP3_gamma_i). As rochas graníticas se agrupam em suítes

pelas suas características composicionais, texturais e químicas, que constituem comumente corpos batolíticos, por vezes intensamente fraturados.

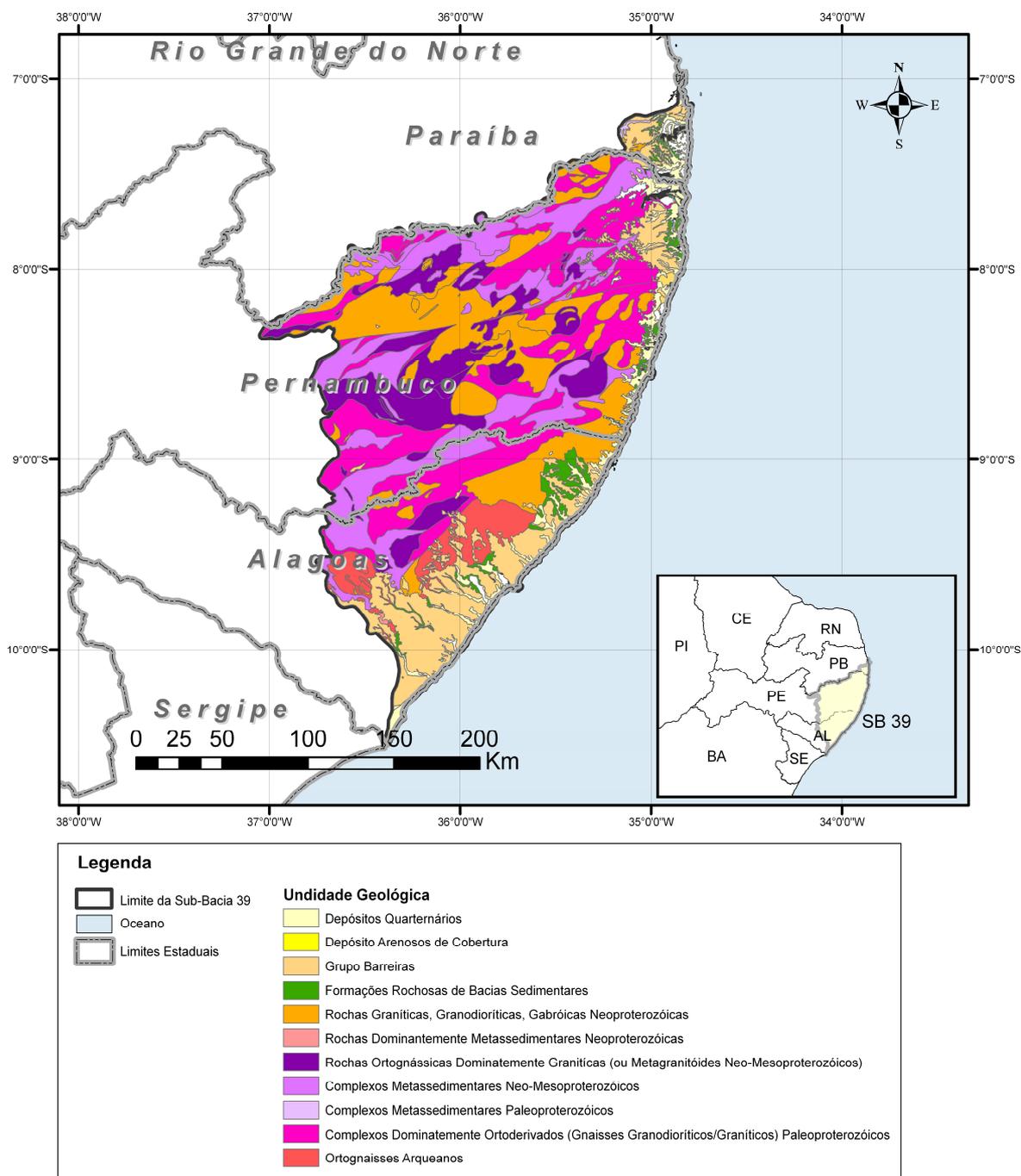


Figura 2.3 – Mapa geológico simplificado da Sub-Bacia 39

Fonte: Mapa geológico do Brasil na escala 1:2.500.000 (CPRM,2004)

As rochas de idade Cretácica fazem parte das Bacias Sedimentares (K) e são compostas predominantemente por rochas sedimentares calcário, calcarenito, arenito, conglomerado, siltito, folhelho, arcóseo, e argilito e subordinadamente com representantes vulcânicos riolito, andesito,

traquito, fonolito, basalto (unidades K_{pe}, K_{alpha_it}, K1_{cp}, K1_{cs}, K1_{mc}, K12_{lambda_ip}, K2_{be} e K2_g).

As rochas mais recentes, de idade do Neogeno, são representadas por sedimentos do Grupo Barreiras (E), compostos por arenito, argilito arenoso, arenito conglomerático e arenito síltico-argiloso (unidades EN_b, EN_di e EN_{sm}); por Depósitos Arenosos de Cobertura (NQ) compostos por areia, cascalho e argila (unidades NQ_c e N2_m); e por Depósitos Quaternários (Q) compostos por areia, argila, pelito, silte e calcário recifal (unidades Q2_a, Q2_l, Q2_r, Q_{fl}, Q_{fm} e Q_{pm}).

A Sub-Bacia 39 localiza-se, geotectonicamente, na Província Borborema e a região centro-norte da sub-bacia que fica entre o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos, é por muitos autores, denominada de Zona Transversal. Essa Zona Transversal sofreu pelo menos 03 (três) intensos ciclos tectono-metamórficos, sendo, o último, chamado ciclo Brasileiro, responsável, também, pelo desencadeamento de uma série de zonas de cisalhamento da área, incluindo os Lineamentos Patos e Pernambuco. Tardiamente a esse último evento deformacional, há uma série de fraturas abertas associadas. Dominantemente essas fraturas abertas são de direção Norte-Sul. Elas, inclusive, são associadas a rios que se encaixam ao longo delas, principalmente em áreas de ocorrência de granitos, a exemplo daqueles neoproterozóicos da Zona Transversal, que podem ser indicativos de um sistema aquífero fissural.

As siglas agrupadas no mapa geológico simplificado estão disponíveis no banco de dados (GEOBANK) da CPRM, cujo endereço é <http://geobank.sa.cprm.gov.br>.

2.3 HIDROGEOLOGIA

Dos sete domínios hidrogeológicos denominados por Bomfim *et al* (2007) para todo o território nacional, encontram-se, na Sub-Bacia 39, subdomínios de cinco deles, como apresentado na **Figura 2.4**. São eles:

- a. Domínio 1: Formações Cenozóicas
 - i. Subdomínio Aluviões (F_{cal})
 - ii. Subdomínio Depósitos Tipo Barreiras (F_{cb})
 - iii. Subdomínio Depósitos Litorâneos (F_{cdl})
- b. Domínio 2: Bacias Sedimentares
 - i. Subdomínio Bacia Pernambuco/Paraíba (B_{cP/P})
 - ii. Subdomínio Bacia Sergipe/Alagoas (B_{cSA})

- c. Domínio 4: Metassedimentos/Metavulcânicas (M/M)
- d. Domínio 6: Cristalino (C)
- e. Domínio 7: Carbonato/Metacarbonato (M/M)

Domínio Hidrogeológico 1: FORMAÇÕES CENOZÓICAS

• **Aluviões (Fcal):** Possuem favorabilidade hidrogeológica variável. Correspondem às aluviões recentes e antigas, no geral estreitas e/ou de pequena espessura. Litologicamente são representadas por areias, cascalhos e argilas com matéria orgânica. No geral, é prevista uma favorabilidade hidrogeológica baixa. Ao longo de rios de primeira ordem, existem locais onde podem adquirir possança, com larguras superiores a 6-8km, e espessuras que superam a 40 metros, e onde se espera uma favorabilidade hidrogeológica média a alta. As águas são predominantemente de boa qualidade química.

• **Depósitos Tipo Barreiras (Fcb):** Possuem média a alta favorabilidade hidrogeológica. Litologicamente são representados por uma alternância de sedimentos arenosos, argilosos e areno-conglomeráticos, com bruscas variações laterais de fácies. Espessuras bastante variáveis, sendo que localmente ultrapassam os 70 metros. A favorabilidade da ocorrência de água aumenta com a espessura e a razão areia/argila. Água normalmente de boa qualidade química.

• **Depósitos Litorâneos (Fcdl):** Possuem favorabilidade hidrogeológica variável. Correspondem aos sedimentos depositados em ambientes costeiros flúvio-lacustres ou marinhos litorâneos, com espessuras que podem alcançar dezenas de metros e larguras de até centenas de metros. Litologicamente estão representados por areias, cascalhos, siltes e argilas intercaladas e não seqüenciados. A possibilidade de água nestes depósitos é muito variável em decorrência da grande heterogeneidade e anisotropia dos aquíferos. A qualidade da água é geralmente boa, podendo contudo ser influenciada pela proximidade do ambiente marinho, de salinidade atmosférica e hídrica elevada, e dos evaporitos presentes nos sedimentos.

Domínio Hidrogeológico 2 - BACIAS SEDIMENTARES

- **Bacia Pernambuco/Paraíba (BcP/P):** Possui baixa favorabilidade hidrogeológica. Representada pelos sedimentos da Formação Cabo, que incluem conglomerados polimíticos, arenitos médio a finos, siltitos e argilitos, em parte silicificados. As áreas hachuriadas na **Figura 2.4** indicam áreas de alta a média favorabilidade hidrogeológica. Predominam arenitos médios a finos, siltitos, alguns níveis de argilitos e, mais raramente, conglomerados polimíticos com seixos de vulcânicas. Representada pelas formações Beberibe e Algoduais, sendo que a primeira constitui sua principal unidade aquífera.

- **Bacia Sergipe/Alagoas (BcSA):** Possui baixa favorabilidade hidrogeológica. Compreende as unidades geológicas da bacia onde os sedimentos pelíticos de baixa permeabilidade predominam sobre os arenitos e conglomerados (Bananeira, Perucaba, Coqueiro Seco). As áreas hachuriadas na **Figura 2.4** indicam áreas de alta a média favorabilidade hidrogeológica. Inclui as principais unidades aquíferas da bacia (excluídas as carbonáticas que estão englobadas no Domínio 7, como Serraria, Penedo e Muribeca). Litologicamente predominam arenitos, arcóseos e conglomerados, como folhelhos, siltitos e argilitos mais subordinados. Água normalmente de boa qualidade química.

Domínio Hidrogeológico 4 - METASSEDIMENTOS/METAVULCÂNICAS (M/M)

Possui baixa favorabilidade hidrogeológica. Os litótipos relacionados aos Metassedimentos/Metavulcânicas reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfíbolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvas, metavulcânicas diversas etc, que estão relacionados ao denominado aquífero fissural. Como quase não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água é na maior parte das vezes salinizada. Apesar deste domínio ter comportamento similar ao do Cristalino tradicional (granitos, migmatitos etc), uma separação entre eles é necessária, uma vez que suas rochas apresentam comportamento reológico distinto; isto é, como elas têm estruturação e competência diferente, vão reagir também diferentemente aos esforços causadores das fendas e fraturas, parâmetros fundamentais no acúmulo e fornecimento de água. Deve ser esperada, portanto, uma maior favorabilidade hidrogeológica

neste domínio do que o esperado para o Cristalino tradicional. Podem ser enquadrados neste domínio grande parte das supracrustais, aí incluídos os “greenstones belts”.

Domínio Hidrogeológico 6 – CRISTALINO (C)

Domínio predominante na Sub-Bacia 39. Possui baixa/muito baixa favorabilidade hidrogeológica. No Cristalino, foram reunidos basicamente granitóides, gnaisses, granulitos, migmatitos, básicas e ultrabásicas, que constituem o denominado tipicamente como aquífero fissural. Como quase não existe uma porosidade primária nesses tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água em função da falta de circulação e do tipo de rocha (entre outras razões) é na maior parte das vezes salinizada. Como a maioria desses litótipos ocorre geralmente sob a forma de grandes e extensos corpos maciços, existe uma tendência de que esse domínio seja o que apresenta menor possibilidade de acúmulo de água subterrânea dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais.

Domínio Hidrogeológico 7 - CARBONATOS/METACARBONATOS (C/C)

Possui favorabilidade hidrogeológica variável. Os Carbonatos/Metacarbonatos constituem um sistema aquífero desenvolvido em terrenos onde predominam rochas calcárias, calcárias magnesianas e dolomíticas, que tem como característica principal, a constante presença de formas de dissolução cárstica (dissolução química das rochas calcárias), formando cavernas, sumidouros, dolinas e outras feições erosivas típicas desses tipos de rochas. Fraturas e outras superfícies de descontinuidade, alargadas por processos de dissolução pela água propiciam ao sistema porosidade e permeabilidade secundária, que permitem acumulação de água em volumes consideráveis. Infelizmente, essa condição de reservatório hídrico subterrâneo não se dá de maneira homogênea ao longo de toda a área de ocorrência. Ao contrário, são feições localizadas, o que confere elevada heterogeneidade e anisotropia ao sistema aquífero. A água, no geral, é do tipo carbonatada, com dureza bastante elevada.

Na **Figura 2.4** é apresentada a hidrogeologia, na escala 1:2.500.000, para a Sub-Bacia 39.

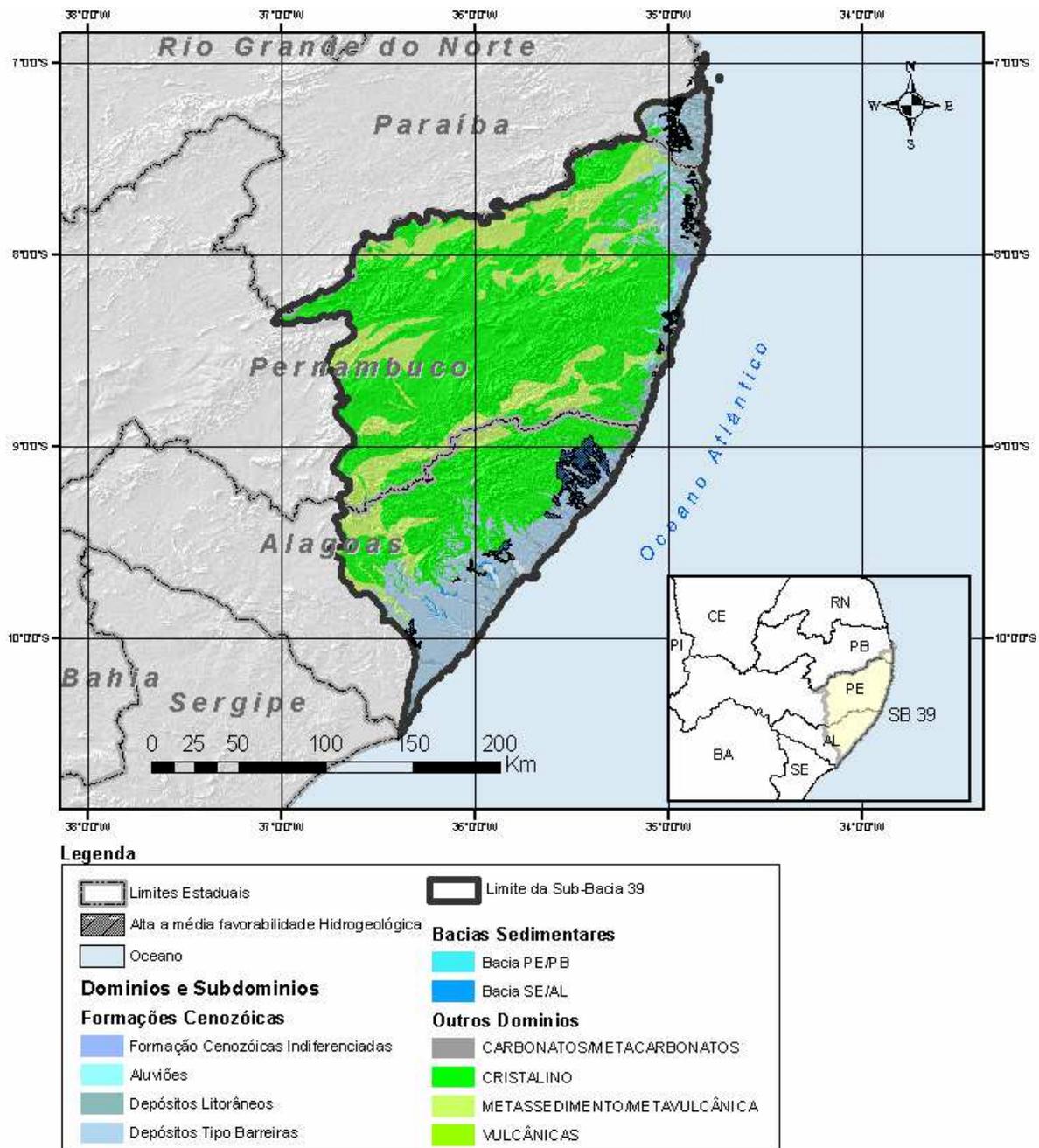


Figura 2.4 - Hidrogeologia da Sub-Bacia 39

Fonte: Mapa hidrogeológico do Brasil na escala 1:2.500.000 (CPRM, 2007)

2.4 SOLOS

A Sub-Bacia 39 possui uma grande diversidade de solos, destacando-se os Argissolos como solos predominantes na região, seguidos dos Latossolos, Neossolos e Planossolos. Outras unidades pedológicas se fazem presentes na região, tais como Luvisolos, Espodossolos e Gleissolos, que juntos abrangem aproximadamente 2% da área da Sub-Bacia 39. Abaixo é feita uma breve descrição das ordens de solos predominantes na bacia.

- **LATOSSOLOS:** solos minerais, profundos, bem drenados, pedogeneticamente muito desenvolvidos, com horizonte B latossólico e um conjunto de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas relativamente uniformes ao longo do perfil. Em função da alta evolução pedogenética, restam no perfil de alteração basicamente argilominerais 1:1, óxidos, quartzo, e alguns poucos minerais primários resistentes ao intemperismo. No que se refere ao uso agrícola, apresentam como potencialidades: boas condições de drenagem, grande profundidade efetiva e baixo risco de salinização. As restrições relacionam-se principalmente com a baixa fertilidade natural, presença de horizonte coeso, relevo movimentado que requer cuidados com a erosão e o déficit hídrico regional. Na sub-bacia em estudo, apresentam-se na forma de Latossolos Amarelados – LA5 e LA22 e de Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA7.

- **ARGILOSSOLOS:** solos minerais, não hidromórficos, com acúmulo de argila, predominantemente, de atividade baixa, em subsuperfície no horizonte B textural. São desenvolvidos a partir dos mais diversos materiais de origem e abrangem características morfológicas, físicas e químicas muito diversificadas. Variam desde solos rasos a muito profundos. Quanto ao uso agrícola, os solos de maior potencial são profundos, não pedregosos e em condições de relevo plano a suave ondulado. As principais restrições relacionam-se com a profundidade efetiva limitada, pedregosidade, sodicidade, horizontes que restringem a drenagem, relevo movimentado, susceptibilidade à erosão e o déficit hídrico regional. Na sub-bacia estudada, apresentam-se na forma de Argilossolos Vermelhos-Amarelos – PVA16, PVA53, PVA81, PVA95, PVA2 e PVA47, de Argilossolos Acinzentados – PAC e de Argilossolos Vermelhos – PV20.

- **LUVISSOLOS:** solos minerais, não hidromórficos, com alta saturação por bases (solos eutróficos), pouco profundos a rasos, e com acúmulo de argila de atividade alta, em subsuperfície no horizonte B textural. Tipicamente apresentam cores avermelhadas e um horizonte superficial pobre em matéria orgânica. São considerados de alta fertilidade natural. Mas o potencial para o uso agrícola é restrito em função de fatores como: a pequena profundidade efetiva, sodicidade, pedregosidade, alta susceptibilidade à erosão, presença de horizontes pouco permeáveis, além do déficit hídrico regional. Na sub-bacia em estudo, aparecem em duas pequenas manchas, na forma de Luvisolos Crômicos – TC20 e TC2.

- **PLANOSSOLOS:** solos minerais imperfeitamente drenados, fundamentalmente, pela presença de um horizonte sub-superficial B plânico, abaixo de A ou E, precedido por uma transição abrupta. O horizonte B plânico, normalmente, apresenta-se compacto, muito duro a extremamente duro quando seco e com cores predominantemente acinzentadas. A maioria desses solos apresenta argila de atividade alta e mudança textural abrupta na passagem para o horizonte B plânico. A deficiência de drenagem é o principal fator que restringe o potencial de uso agrícola dessa classe. Na sub-bacia estudada, expõe-se a forma de Planossolos Háplicos – SX11 e SX17.

- **ESPODOSSOLOS:** solos minerais, tipicamente arenosos, com um horizonte de acúmulo de matéria orgânica e alumínio, com ou sem ferro, em subsuperfície no horizonte B espódico. Esse horizonte, normalmente, apresenta cores escuras e pode ser cimentado ou não. A deficiência da drenagem e a baixa fertilidade natural são os principais fatores que restringem o potencial de uso agrícola desses solos. Na área da bacia estudada, encontramos a forma de Espodossolos Ferrocárbicos – ES19 e ES1.

- **NEOSSOLOS:** solos pedogeneticamente pouco desenvolvidos com ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Dependendo da profundidade do contato lítico, mineralogia, presença de horizontes e/ou camadas são subdivididos em Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos. Apresentam diversas restrições ao uso agrícola, mas, quando são profundos, sem problemas de drenagem, pedregosidade e/ou rochosidade, oferecem condições para o uso agrícola. Na área da Sub-Bacia 39, encontramos a forma de Neossolos Regolíticos – RR3 e de Neossolos Litólicos – RL42, RL50, RL49 e RL43, respectivamente, constituídos por horizontes com 4% ou mais de minerais primários alteráveis e, distintos dos demais por serem rasos, ocupando, juntamente com os afloramentos rochosos.

- **GLEISSOLOS:** solos minerais, mal ou muito mal drenados, acinzentados, desenvolvidos em ambientes hidromórficos. Caracterizam-se por apresentar horizonte glei, consequência do ambiente redutor em que foram desenvolvidos sem, contudo, preencher requisitos distintivos de outras classes de solos. De modo geral, esses solos apresentam média a baixa fertilidade natural e, como principal limitação, a deficiência de oxigenação, que pode ser melhorada com práticas adequadas de drenagem. Na sub-bacia estudada, ocorre a forma de gleissolos sálicos – GZ2.

Na **Figura 2.5** é apresentado o mapa de solos na escala 1:5.000.000 da Sub-Bacia 39.



Figura 2.5 – Solos da Sub-Bacia 39

Fonte: Mapa de solos do Brasil na escala 1:5.000.000 (Embrapa/IBGE, 2001)

2.5 COBERTURA VEGETAL

Apesar de atualmente a área de estudo estar bastante antropizada, principalmente pelas atividades agrícolas, pode-se dizer que as formações vegetais naturais demarcadas correspondem às principais regiões florísticas existentes na área da Sub-bacia 39 e aos contatos e transições entre estas formações, que constituem as áreas de tensão ecológica.

Estas formações, diretamente correlacionadas às condições edáficas, climáticas e hidrológicas apresentam, associativamente, importante papel na diversificação da população faunística.

Na área de estudo, verificam-se 05 (cinco) grandes tipos de vegetação, dispostas em (09) nove formas, conforme pode ser visto na **Figura 2.6**, sendo esses descritos resumidamente a seguir:

- **Floresta Ombrófila**

Neste domínio são consideradas duas fisionomias, correspondentes aos subgrupos de formações definidos pelo Projeto RADAMBRASIL:

- Floresta Ombrófila Densa
- Floresta Ombrófila Aberta

A Floresta Ombrófila é uma formação constituída por árvores de grande porte, com folhagem permanente, associada a condições climáticas sem déficit hídrico, ou com um déficit associado a curto período de tempo.

As duas fisionomias demarcadas têm composição florística similar. A formação Aberta tem o dossel interrompido por espaços que ressaltam fisionomias típicas (faciações florísticas).

A região de Floresta Ombrófila reveste grande parte da superfície dissecada em colinas e relevos tabulares, apresentando diferenciações fisionômicas em função da altitude, latitude, grau de umidade do solo e condicionantes edáficos.

Apesar da escala significativa das atividades agrícolas, ainda permanecem neste domínio extensas áreas, afastadas das zonas de ocupação que, juntamente com as áreas legalmente protegidas, mantêm-se aparentemente em condições próximas das naturais.

A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, a característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a "região florística florestal". Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°) e de alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco. Além disso, dominam, nos ambientes destas florestas, latossolos distróficos e, excepcionalmente, eutróficos, originados de vários tipos de rochas.

- **Floresta Estacional**

Neste domínio estão incluídas, conforme o subgrupo delimitado no Projeto RADAMBRASIL:

– Floresta Estacional Semidecidual.

O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática definidas: uma chuvosa, outra seca, ou a uma acentuada variação térmica, cuja alternância determina uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes.

Esta formação apresenta fisionomias diferenciadas, de acordo com variações edáficas, climáticas, de balanço hídrico e de altitude, ocorrendo em sua composição florística espécies de alto valor comercial.

- **Áreas de Tensão Ecológica**

As áreas de tensão ecológica, divididas em 05 (cinco) subclasses pelo Projeto RADAMBRASIL, foram objeto de agrupamento, na presente escala de trabalho, em 02 (duas) tipologias definidas como:

– Contato Estepe/Floresta Estacional.

– Contato Savana/Floresta Estacional.

As áreas de tensão correspondem a zonas de contato entre duas ou mais formações, que podem se interpenetrar ou se misturar.

- **Áreas de Formações Pioneiras**

Correspondem às comunidades vegetais que recobrem, na área de estudo, as zonas costeiras. São áreas pedologicamente instáveis, devido ao contínuo aporte de material proveniente das deposições aluviais, em diferentes níveis de colmatação.

A vegetação que se desenvolve nestes ambientes é de caráter pioneiro, apresentando diversas fases sucessionais, iniciadas normalmente num estágio alagado (hidrossere) e passando pelos estágios graminoso-herbáceo e arbustivo, podendo atingir o arbóreo. As fisionomias variam em função da quantidade de água e da duração do período de inundação.

Ao longo do litoral, bem como nas planícies fluviais e mesmo ao redor das depressões aluviais, há, freqüentemente, terrenos instáveis cobertos por uma vegetação, em constante sucessão, de terófitos, criptófitos (geófitos e/ou hidrófitos), hemicriptófitos, caméfitos e nanofanerófitos. Trata-se de uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico.

Na área de estudo, encontramos duas variações desse tipo de vegetação: a de atividades agrícolas e a com influência fluvio-marinha (manguezal). O manguezal é a comunidade microfanerofítica de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regatos no mar, onde, nos solos limosos, cresce uma vegetação adaptada à salinidade das águas.

- **Estepe**

Vegetação típica de áreas de clima temperado continental, constituída, basicamente, de gramíneas. Recebe nomes diferentes nas regiões onde aparece.

No árido sertão nordestino a estepe (conhecida como caatinga) corresponde a várias formações vegetais que se constituem num tipo de vegetação estacional decidual, com várias cactáceas.

Na **Figura 2.6** é apresentado o mapa de vegetação da Sub-Bacia 39, na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004).

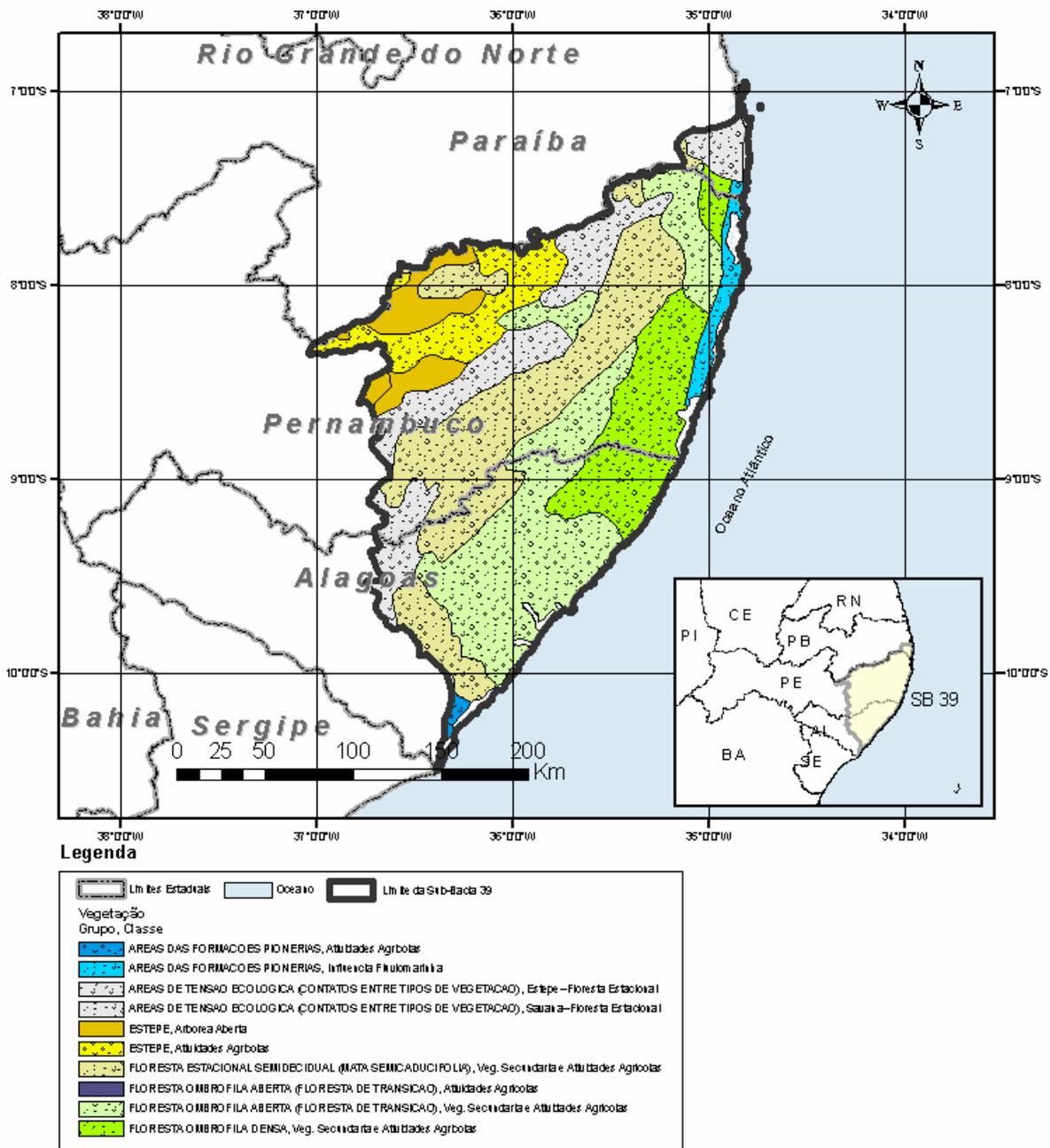


Figura 2.6 - Vegetação da Sub-Bacia 39

Fonte: Mapa de vegetação do Brasil na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004)

2.6 CLIMA E REGIME HIDROLÓGICO

A região apresenta grande variabilidade climática e de regime hidrológico. Os totais anuais médios de chuva variam de 2.300 mm na faixa litorânea ao sul de Recife até 400 mm em regiões do trecho superior da bacia do Rio Capibaribe. A variação interanual das precipitações também é acentuada, oscilando de 1.200 a 3.000 mm anuais no litoral e entre 200 e 1.000 mm na região oeste da sub-bacia.

Devido a essa grande variabilidade, a Sub-Bacia 39 foi dividida em duas grandes regiões distintas: Litoral / Zona da Mata e Agreste (Figura 2.7), conforme a distribuição das macrorregiões classificadas pelo IBGE.



Figura 2.7 - Macrorregiões da Sub-Bacia 39 (Classificação do IBGE)

No Litoral e na Zona da Mata, o principal período chuvoso ocorre nos meses de abril a agosto, com os totais pluviométricos médios anuais variando entre 1.000 a 2.000 mm. Esta região caracteriza-se por apresentar clima úmido, com precipitações de até 2.200 mm nas áreas mais litorâneas (Lacerda *et al* in Silva, 2006).

O Agreste, devido a sua localização, é considerado uma região intermediária entre as áreas de clima úmido (Litoral e Zona da Mata) e clima seco (Sertão). Nas áreas mais próximas ao Sertão, o período chuvoso inicia-se em fevereiro e estende-se até junho, e nas áreas próximas da Zona da Mata, a estação chuvosa ocorre no período de abril a julho. Os totais pluviométricos anuais variam, em média, entre 600 e 1.000 mm, destacando-se algumas áreas de brejos onde as precipitações são superiores a 1.000 mm, como por exemplo: Brejão (1.404 mm) e Bom Jardim (1.412 mm) (Lacerda *et al* in Silva, 2006).

Na **Figura 2.8 e 2.9** são apresentados os hietogramas de médias mensais e de totais anuais de três estações que são representativas das diferentes regiões citadas acima, ilustrando as variações no regime de chuvas. As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 27°C.

O regime hidrológico também é diversificado, com rios intermitentes nas regiões de clima tropical seco, os quais escoam, em regime torrencial, somente nos períodos chuvosos de média e grande intensidade. Na região tropical úmida os rios têm regime permanente, mas apresentam variação acentuada nos índices de escoamento quando de períodos secos ou chuvosos. Devido à construção de açudes para abastecimento público, que tem se intensificado ao longo dos anos, especialmente na região semiárida, atualmente constata-se mudanças no comportamento de alguns rios, com maior duração de períodos secos. Verifica-se, tais mudanças, notadamente nas bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca e Una.

Caracterizando o regime de vazões dos rios que compõem a Sub-Bacia 39 e a maioria de seus afluentes, pode-se definir o ano hidrológico de março a fevereiro na região Zona da Mata/Litoral e de abril a março na região Agreste. O trimestre mais chuvoso varia de fevereiro a abril na parte mais a oeste da bacia, e de maio a julho na faixa litorânea. O trimestre mais seco varia de agosto a outubro na região mais seca e de novembro a janeiro na região úmida. Na **Figura 2.10 e Figura 2.11** estão representadas as vazões médias mensais e médias anuais de quatro estações da bacia do Rio Capibaribe.

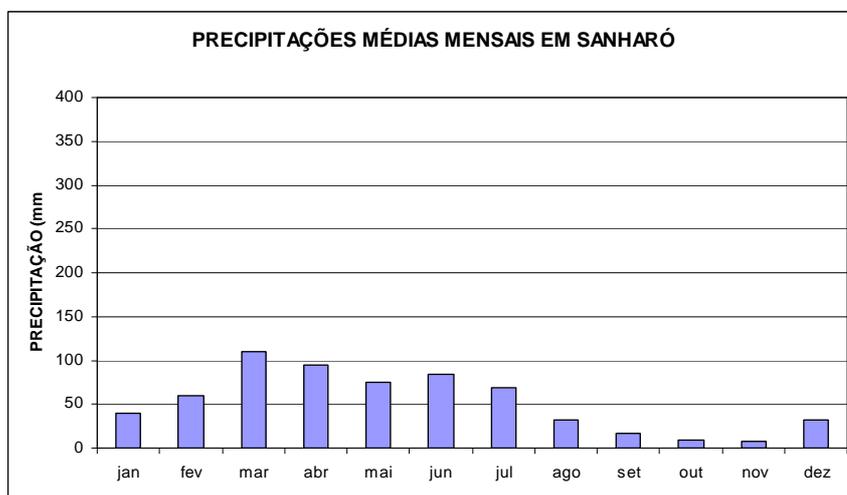
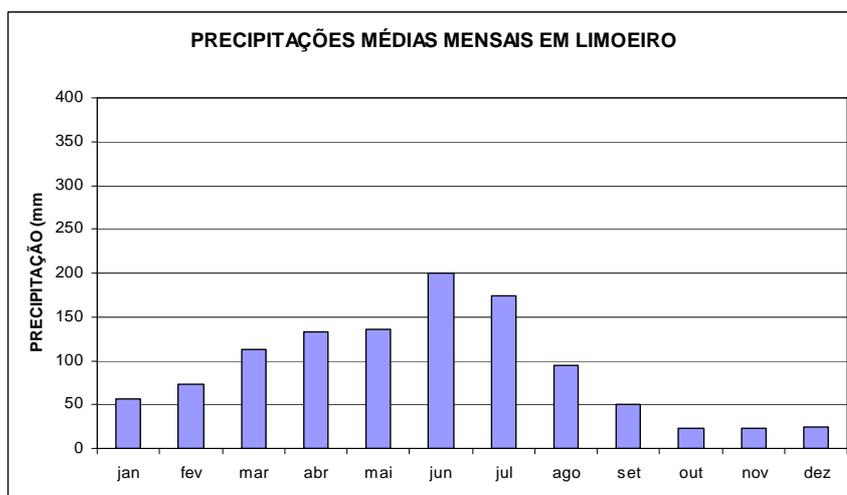
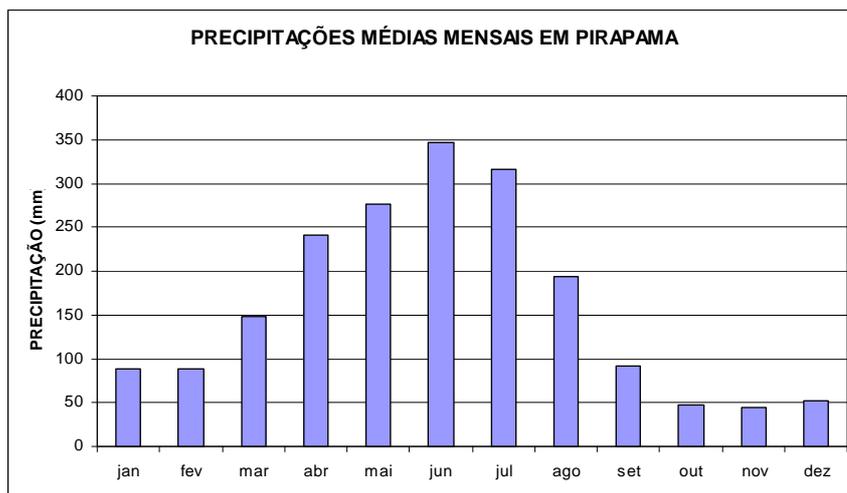


Figura 2.8 – Precipitações médias mensais em Pirapama (Zona da Mata), Limoeiro (Agreste) e Sanharó (Sertão).

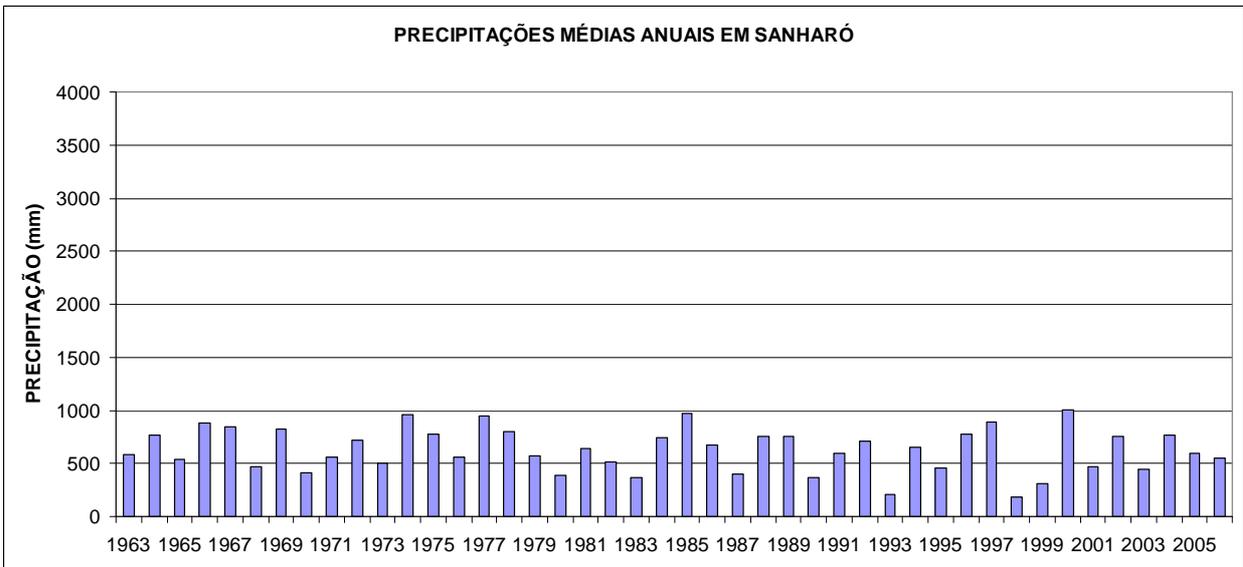
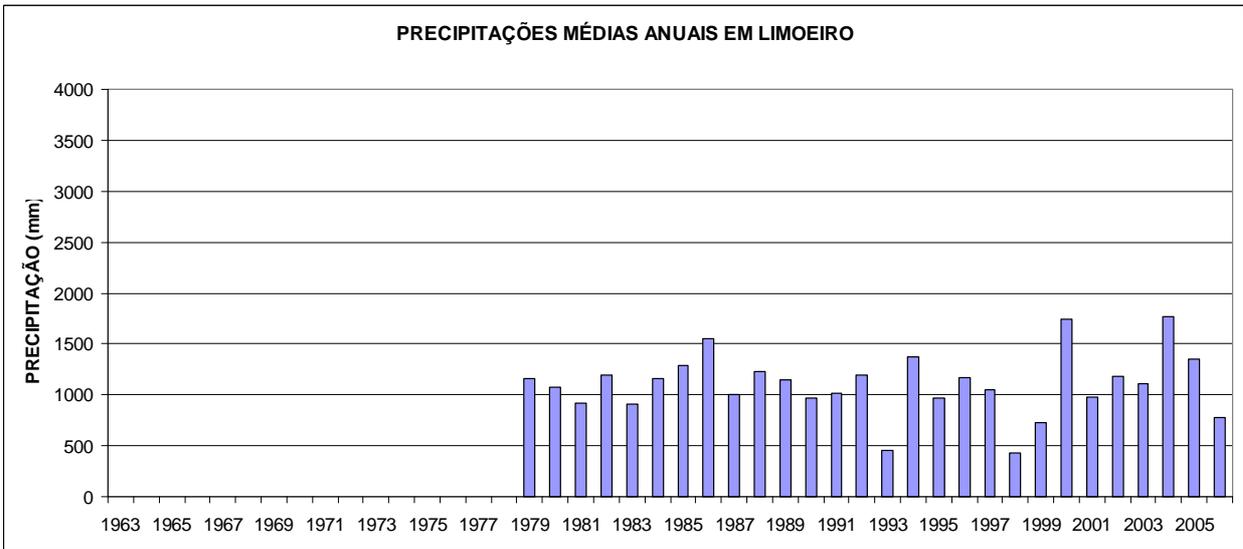
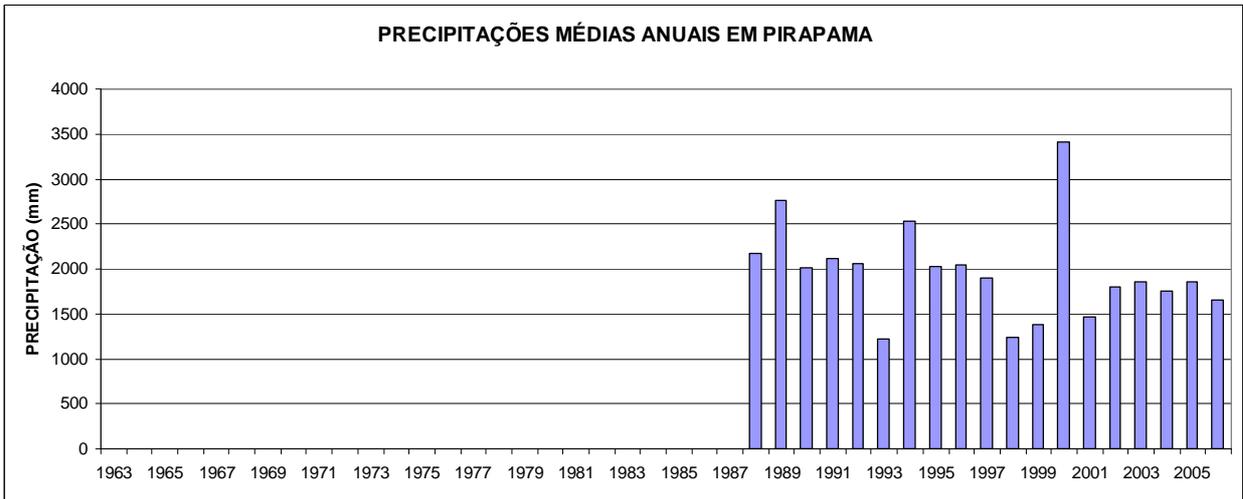


Figura 2.9 – Precipitações médias anuais em Pirapama (Zona da Mata), Limoeiro (Agreste) e Sanharó (Sertão).

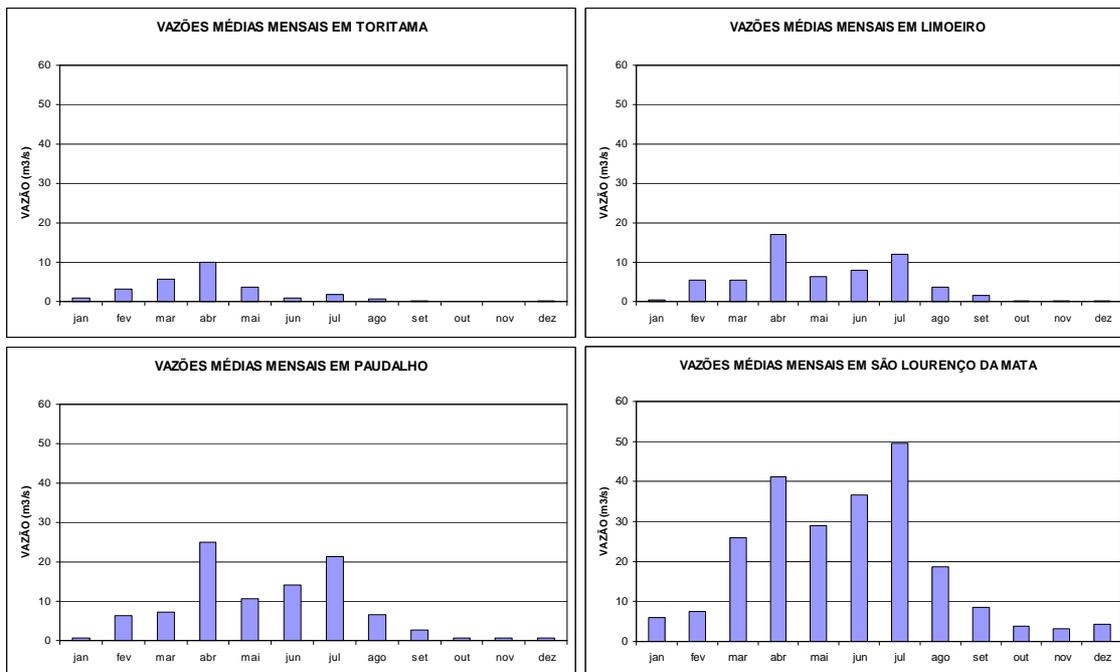
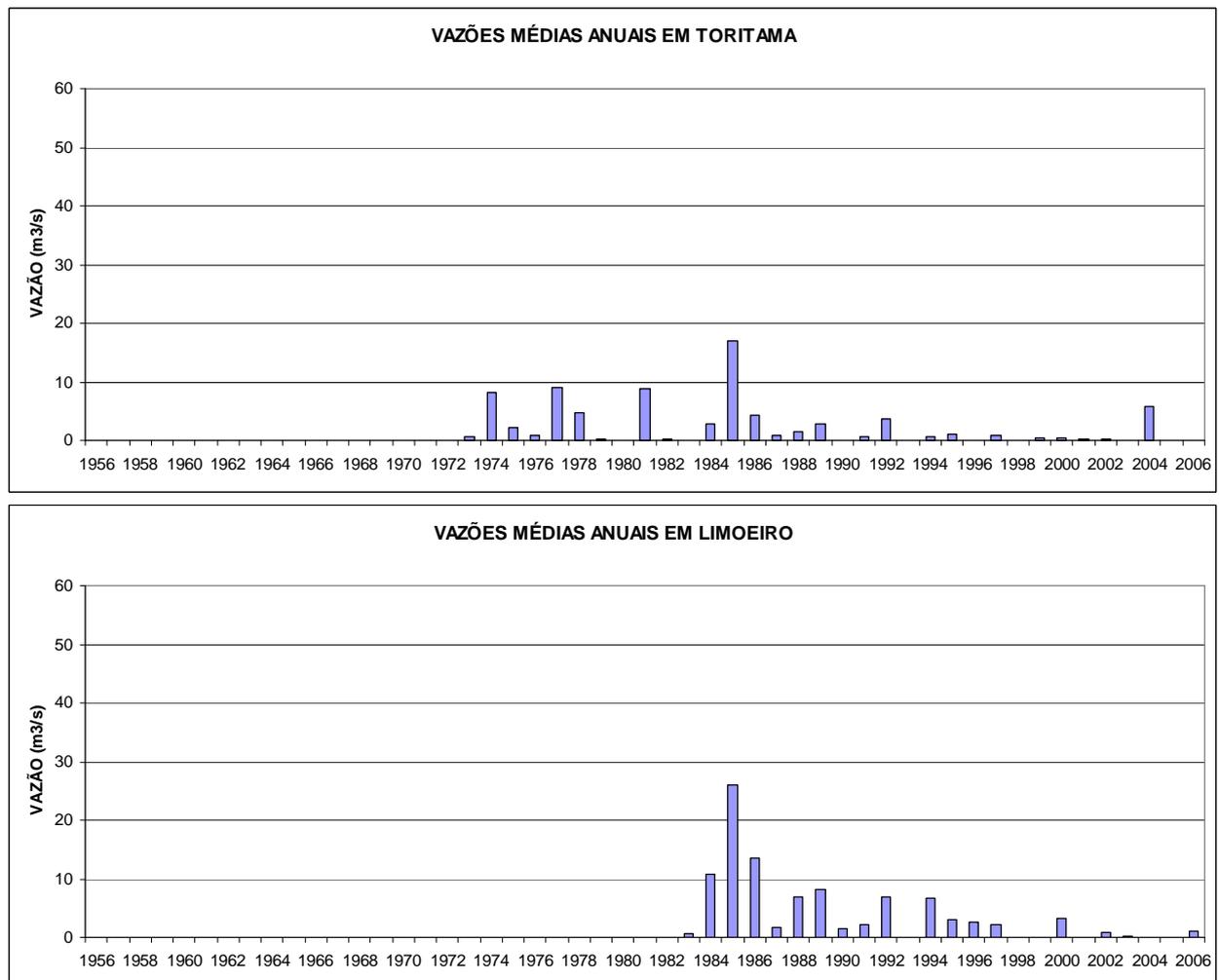


Figura 2.10 – Vazões médias mensais em Toritama, Limoeiro, Paudalho e São Lourenço da Mata



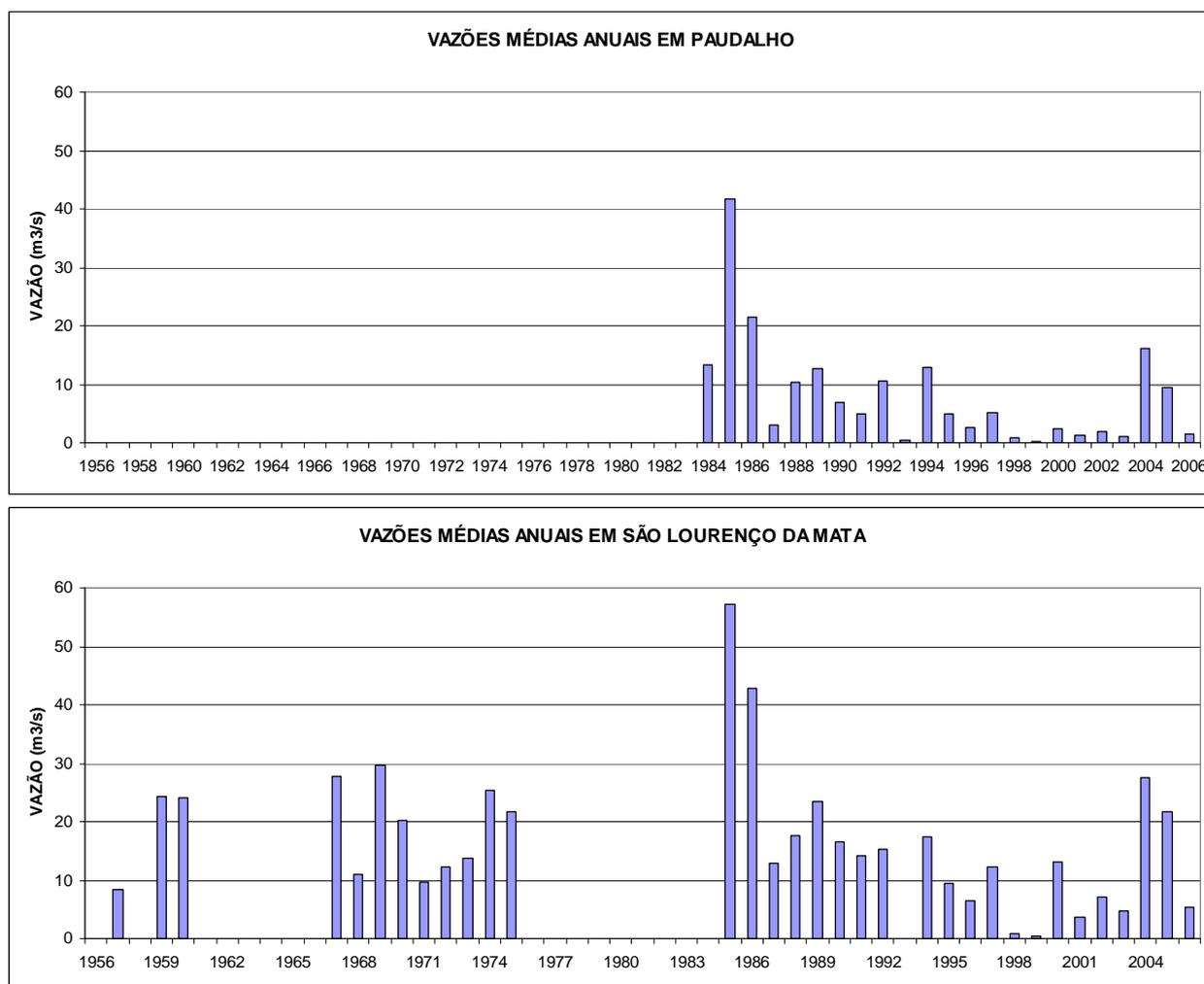


Figura 2.11 – Vazões médias anuais em Toritama, Limoeiro, Paudalho e São Lourenço da Mata

3 METODOLOGIA

O estudo de regionalização ora desenvolvido para a Sub-Bacia 39 baseou-se na metodologia consolidada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, reunida e apresentada em Tucci (2002) e adotada nos estudos de 2001 pela CPRM (CPRM/ANEEL, 2001 e CPRM/ANEEL, 2002).

A metodologia empregada neste trabalho foi a que regionaliza a vazão Q95% com base nas variáveis explicativas, área de drenagem (A) e precipitação total anual média (P), adotando-se para tanto equações que melhor se ajustaram à correlação definida entre a Q95% e essas variáveis.

Neste estudo, recomenda-se utilizar a maior quantidade de dados disponíveis já consistidos. Sendo assim, foram coletados todos os dados possíveis e pré-selecionadas todas as estações com mais de cinco anos completos de vazão fluvial. Em seguida, os dados das estações

foram avaliados quanto à sua qualidade, utilizando-se dentre outros aspectos, o critério de avaliação constante do **Anexo C (Tabela C5 e Tabela C6)**.

Na seleção das estações fluviométricas para a análise regional da Q95%, foram ainda realizados testes de estacionariedade (t – Student para as médias e F – Fisher para as variâncias) das séries de vazões médias anuais e das de vazões a 95% de permanência anuais, utilizando para tanto, o programa HIDROCAL, desenvolvido pela CPRM em 2009, a fim de se verificar a adequabilidade estatística dessas séries para um estudo de regionalização de vazões.

As variáveis explicativas utilizadas na análise regional da Q95% são grandezas fisiográficas (área de drenagem) e meteorológicas (precipitação) da região, sendo as primeiras determinadas de uma base cartográfica disponível e com o uso das ferramentas do Programa ArcGis 9.3. As meteorológicas foram obtidas da imagem *raster* de precipitações médias anuais do Brasil gerada pelo Projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010).

As magnitudes da vazão de 95% de permanência foram definidas pela interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para a frequência de 95%. A curva de permanência expressa a relação dos valores de vazão com a frequência que esse valores tendem de ser superados. Neste trabalho essas curvas foram determinadas para as séries de vazões médias diárias.

Para a definição das regiões homogêneas para a Q95% da área em estudo foi realizada a análise de regressão dessa variável com grandezas explicativas, área de drenagem e precipitação, para diversas configurações de agrupamentos de estações. Essa análise consistiu na busca do melhor resultado em termos de melhoria do R2 e na redução dos resíduos. Foi utilizado o programa EXCEL para o estabelecimento das equações de regressão, com base na sua ferramenta de gráficos e de análise de dados para a regressão. As equações de regressão estabelecidas foram do tipo potencial, tais como, dos tipos:

$$Q95\% \text{ específica} = a \times A^b \times P^c$$

ou

$$Q95\% = A^y \times P^z \times k$$

ou

$$Q95\% = a \times e^{b \times P}$$

Nesse estudo de regressão se levou em consideração, além dos resultados estatísticos do ajuste das equações de regressão, a proximidade entre as estações e a análise qualitativa dos mapas temáticos. Calcularam-se ainda indicadores hidrológicos regionais (rcp95), assim com

foram estabelecidas as curvas de permanência adimensionais, visando também auxiliar a definição dessas regiões.

Estabelecidas as melhores configurações de agrupamento de estações com base nos critérios descritos acima e determinadas suas equações regionais de regressão para a Q95%, foram traçados os limites das regiões hidrologicamente homogêneas, cujo contorno levou em consideração o perímetro das bacias de contribuição às estações contidas em cada uma dessas regiões e as feições dos mapas temáticos disponíveis para a região.

Os resultados detalhados das regressões são apresentadas em forma de tabelas e figuras.

4 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS

Os dados pluviométricos da Sub-Bacia 39 foram obtidos do estudo feito pelo Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2010), em desenvolvimento, pela CPRM, no período de 1977-2006. A análise dos dados pluviométricos utilizados para a composição das isoietas está associada à metodologia empregada dentro do próprio projeto Atlas.

Os dados fluviométricos utilizados neste estudo foram os das estações com registros constantes no cadastro nacional da ANA (HIDRO - aplicativo de banco de dados disponibilizado pela ANA), cuja maior parte ou em sua totalidade estavam contidos nos bancos de dados da CPRM.

O período de dados fluviométricos trabalhado neste estudo é aquele que se tinha disponível para esta sub-bacia, consistido e/ou bruto até o ano de 2006.

Os bancos de dados utilizados neste trabalho estão disponíveis em meio digital, no DVD apensado a este relatório.

No **ANEXO A3** encontra-se o mapa da rede hidrometeorológica operada pela CPRM/SUREG-RE (Superintendência Regional de Recife) em 2009, na Sub-Bacia 39.

4.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

No Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2010) realizou-se uma busca de dados pluviométricos em todas as entidades que operam estações pluviométricos no Brasil, sendo estes selecionados e consistidos para o traçado do mapa de isoietas totais anuais e trimestrais no território nacional. Na Sub-Bacia 39 foram selecionadas, no contexto do referido projeto, 73 estações pluviométricas com no mínimo 30 anos de dados, dentre os 391 cadastrados no inventário da ANA (Anexo B1).

As entidades responsáveis por essas 73 estações são diversas: ANA, LAMEPE, SUDENE, EMATER, SEMARH-AL e INMET. Os dados de chuva dessas estações foram consistidos até o ano de 2006, com base nos quais foram estabelecidas isoietas médias anuais e trimestrais para o período básico de janeiro de 1977 a dezembro de 2006, considerando os dados disponíveis na ANA e complementados pelos dados disponibilizados por algumas das entidades citadas anteriormente. O diagrama do *Período de Dados das Estações Pluviométricas da Sub-Bacia 39* utilizados no estudo para determinação das isoietas totais anuais médias encontra-se no **ANEXO B2**.

A representação das isoietas anuais encontra-se no **ANEXO B3**.

Neste estudo não se avaliou a densidade mínima das estações pluviométricas da região quanto às recomendações da OMM, tal como realizado para a rede fluviométrica (vide item 4.21) da Sub-Bacia 39, tendo em vista essa avaliação fazer parte, de modo geral, do escopo de trabalho do Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2010).

4.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS

O inventário das estações fluviométricas da Sub-Bacia 39 disponível na ANA/HIDROWEB apresenta um total de 189 estações cadastradas (**ANEXO C1**). No entanto, são disponíveis as séries de vazão de apenas 57 estações, entre elas estações atualmente operadas pela CPRM/SUREG-RE e estações extintas. Não foi possível obter dados das estações em operação de outras operadoras, por não ter esses dados disponíveis.

O **ANEXO C2** apresenta o quadro *Diagrama de Disponibilidade de Dados Fluviométricos da Sub-Bacia 39* e o **ANEXO C3** apresenta a estatística dessa disponibilidade. Desse diagrama verifica-se que 41 estações das 57 possuem mais de cinco anos com dados de vazão, sendo que quatro desses encontram-se desativados e só nove foram instalados em período mais recente (após ano 2000).

Todas as informações fluviométricas que se tinham disponíveis foram reunidas num mesmo banco de dados no formato Hidro 1.09 (estrutura de banco de dados desenvolvida pela ANA para armazenamento de dados fluviométricos e pluviométricos), sendo abaixo apresentado um resumo dos dados nele contidos:

- Cotas: série completa com dados brutos e consistidos
- Vazão: série completa com dados consistidos
- Resumo de Descarga: série com dados brutos e ou consistidos;
- Perfis: dados dos perfis disponíveis;

- Curva-Chave: parâmetros ou tabelas das curvas-chaves disponíveis.

Cumprе ressaltar que somente os dados consistidos de vazão foram utilizados no presente estudo de regionalização. O trabalho de consistência dos dados das estações operadas pela CPRM na Sub-Bacia 39 foi desenvolvido segundo metodologia descrita em CPRM (2005) pela equipe de hidrólogos da Superintendência Regional da CPRM de Recife, a partir de 1990.

As 41 estações tiveram a sua localização verificada a partir de todas as fontes possíveis: coordenadas provenientes do banco de dados HIDRO/ANA, coordenadas atualizadas junto ao pessoal da operação, através das fichas descritivas (quando operadas pela CPRM). Nesta etapa foi verificada a coincidência de coordenada de duas estações: São Lourenço da Mata (39188000) e São Lourenço da Mata II (39187800) com séries complementares.

Da análise dos hidrogramas conjuntos dessas estações de mesma localização, com período de dados complementares, apresentados no **ANEXO C11**, tomou-se a decisão de juntá-las. Essa nova série recebeu o código daquele posto que tinha período de dados muito mais longo ou estação com maior quantidade de anos mais recentes, sendo então escolhido o código 39187800 (vide tabela 4.2). Desta união foi reduzido de uma estação o número de estações pré-selecionadas para o presente estudo de regionalização de vazões (40 estações).

Tabela 4.2 – Estação fluviométrica com séries de dados complementares

Estação Adotada	Entidade	Período Disponível	Estação Complementar	Entidade	Período Disponível
39187800	ANA	1990-2006	39188000	ANA	1956-1989

4.2.1 *Diagnóstico da Rede Fluviométrica Existente*

A coleta de dados fluviométricos na Sub-Bacia 39 iniciou-se em 1954, através do DNOCS, com as estações de Toritama, Limoeiro e São Lourenço da Mata, no rio Capibaribe.

A SUDENE, em 1962, assumiu a operação dessas estações, e ampliou a rede com a instalação de novas estações nas bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Una e Mundaú, tendo atuado na bacia até o ano de 1977. O DNAEE, substituído posteriormente pela ANEEL e depois pela ANA (Agência Nacional de Água), começou a atuar na região em 1973, absorvendo algumas estações da SUDENE e implantando outras ao longo dos anos. Hoje a CPRM é a única entidade a possuir rede de estações fluviométricas na sub-bacia.

A **Tabela 4.1** mostra a situação da rede fluviométrica na Sub-Bacia 39, levantada com as informações obtidas entre junho e dezembro de 2009, a partir dos dados disponíveis no site

ANA/HIDROWEB, e baseado nas estações que possuíam algum dado até 2006 (bruto ou consistido), já que pode ocorrer que algumas estações cadastradas como “em operação” podem não possuir dados disponíveis para o usuário. Segundo este critério, apenas estações operadas pela CPRM foram consideradas na elaboração da tabela 4.1, estando incluídas duas estações com apenas leitura de régua – açudes.

A região da Sub-Bacia 39 foi considerada como sendo região do tipo I, ou seja, áreas planas com zonas tropicais, de acordo com a classificação da OMM - Organização Mundial de Meteorologia para redes fluviométricas/fluviográficas (ANEXO C4).

De uma maneira geral, em termos de densidade da rede fluviométrica, as sub-bacias da região em estudo se encontram em situação satisfatória, conforme indica a **Tabela 4.1**, com relação às recomendações mínimas da OMM. Nas bacias do rio Gramame, Abiaí, GL-3 (Grupo de bacias litorâneas 3), GL-4 (Grupo de bacias litorâneas 4) e Pratagi sugere-se, segundo recomendações da OMM, a instalação de mais uma estação em cada uma dessas regiões.

Tabela 4.1 – Densidade da rede fluviométrica da Sub-Bacia 39 x recomendações OMM

Rio	Área (km ²)	Número de Estações		
		Atual	OMM	A instalar
Gramame	590	-	1 - 1	1
Abiaí	636	-	1 - 1	1
Goiana	2.835	5	1 - 3	-
Capibaribe	7.386	12	3 - 7	-
GL1	1.184	1	1 - 1	-
GL2	1.263	7	1 - 1	-
Ipojuca	3.416	5	1 - 3	-
GL3	129	-	1 - 1	1
Serinhaém	2.086	4	1 - 2	-
GL4	297	-	1 - 1	1
Una	6.763	10	3 - 7	-
Mundaú	4.218	5	2 - 4	-
Camaragibe	1.756	1	1 - 2	-
GL5	1.612	1	1 - 2	-
Pratagi	762	-	1 - 1	1
Paraíba	3.817	6	2 - 4	-
São Miguel	2.328	1	1 - 2	-
Coruripe	1.949	2	1 - 2	-

4.2.2 Análise da Qualidade e Consistência

Neste trabalho não foi realizada a consistência dos dados fluviométricos, uma vez que essas informações, levantados no contexto deste trabalho, já possuíam *status* de consistente. No entanto, foram efetuadas algumas avaliações da qualidade dos dados das estações fluviométricas,

a fim de verificar se ainda existiam algumas inconsistências nas informações, que não foram anteriormente identificadas. São procedimentos simples que permitem apenas examinar, de forma global, as informações (Tucci, 2002). As análises realizadas foram: atribuição de notas às estações, segundo os critérios do **ANEXO C5** (Tucci, 2002) e a análise de continuidade das vazões. No texto que segue são apresentados os resultados dessas avaliações.

O processo de avaliação das 41 estações, quanto à qualidade de seus dados, teve como base os critérios do **ANEXO C5** como dito anteriormente. O resultado se encontra no quadro *Notas Atribuídas às Estações da Bacia 39* (**ANEXO C6**) e as estatísticas das notas no **ANEXO C7**. Foram atribuídas notas D a duas estações, que segundo Tucci (2002), configuraria estação inaceitável para um estudo de regionalização. Essas notas foram atribuídas com base numa avaliação conjunta de todas as curvas-chaves disponíveis das estações, com seus correspondentes perfis transversais e fichas descritivas, bem como por meio de informações fornecidas pelo engenheiro com experiência de campo, acostumado a visitar essas estações e de resultados das análises de consistência anteriores efetuadas pela CPRM/SUREG-RE.

Para essas estações pré-selecionadas, em operação, não foi possível obter suas curvas-chaves no período anterior ao início de sua operação pela CPRM. Aquelas estações que não tinham curvas-chaves disponíveis, tais como as das quatro extintas das 41 em avaliação, não puderam ser analisadas, mas continuaram no conjunto de estações fluviométricas selecionadas para o presente estudo de regionalização.

No **ANEXO C10** é apresentado o mapa de localização das 41 estações pré-selecionadas para o presente estudo de regionalização de Q95%, por meio do qual foi possível desenvolver o diagrama unifilar das principais sub-bacias da região (Anexo A2). Nesse diagrama são indicadas as posições relativas das estações consideradas para estudo e dos principais reservatórios encontrados.

Nesse mesmo contexto de avaliação da qualidade dos dados fluviométricos das estações em estudo foi realizada a análise de continuidade de vazões por sub-bacia através das vazões médias e das de 95% de permanência (Q95%) dos postos de montante e de jusante. Considerou-se a vazão média como a média de longo termo (QMLT) determinada a partir da série de vazões diárias. A Q95% foi calculada pela interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para a frequência de 95%. A curva de permanência expressa a relação dos valores de vazão com a frequência que esse valores tendem de ser superados. Neste trabalho essas curvas foram determinadas para as séries de vazões médias diárias. A continuidade das vazões é obedecida quando o resultado da soma das contribuições de montante for menor que a vazão da estação de

jusante. Os resultados da análise da continuidade das vazões médias e das Q95% encontram-se no **ANEXO C8** e **ANEXO C9**, respectivamente.

De acordo com o **ANEXO C8** evidencia-se que a continuidade de vazões médias foi respeitada, com exceção da estação São Lourenço da Mata (39187800) que foi observada uma diferença negativa de 22,8%, com relação à QMLT da estação de montante Tiúma (39185000). Pode-se justificar essa diferença pela conclusão do sistema de abastecimento de água da região metropolitana do Recife em 1982, com a estação elevatória de Tiúma (EE Tiúma) no município de São Lourenço da Mata, tendo uma vazão de recalque de até 400 l/s. Como a QMLT da estação de Tiúma foi calculada com os dados de vazões disponíveis 1973-1982, antes da operação da EE Tiúma e a QMLT de São Lourenço da Mata no período de 1956-2006, o efeito da retirada de água do rio Capibaribe veio a ser observada apenas na estação de São Lourenço da Mata.

Quanto à continuidade das vazões a 95% de permanência (**ANEXO C9**), foram observadas ligeiras diferenças nas estações Caricé (39084000), em função de possíveis retiradas de água do rio por barramentos existentes no local; Tiúma (39185000), que com o término da construção da EE Tiúma em 1982 não mais se tem registros de vazão no local; Cachoeira Tapada (39192000), com possíveis barramentos para retiradas de água (área industrial); Pirapama (39200000), com mudanças de regime no rio devido a construção da barragem de Pirapama a montante da estação.

Nesta etapa foram excluídas duas estações (Tiúma – 39185000 e Destilaria JB - 39190000), devido às suas notas serem “D” de acordo com o **ANEXO C6**. Restando para o estudo 38 estações.

4.2.3 Análise Estatística e Seleção das Estações para o Estudo

Diz-se que uma série é estacionária quando suas propriedades estatísticas não mudam com o tempo (média e variância, por exemplo), ou seja, a igualdade da média e da variância para dois sub-períodos de tempo distintos é respeitada segundo um determinado nível de confiança.

A avaliação da estacionariedade de séries históricas requer que elas sejam representativas (de preferência maior que 40 anos), a fim de não introduzir tendências nos resultados dos testes de estacionariedade. No entanto, no presente estudo nenhuma das estações avaliadas possui série com período de dados superior a 40 anos. Sendo assim, pouco se poderá dizer, com segurança, sobre sua estacionariedade. Apesar disso, empreendeu-se nas séries de vazões das estações avaliadas nesse trabalho um teste estatístico, também chamado de teste de “estacionariedade”, com base no qual se buscou identificar aqueles períodos com

comportamento atípico em relação ao restante e a procedência desses desempenhos anômalos nas séries, ou seja, se esses eventos podem ter sido atribuídos a processos aleatórios ocorridos nos postos ou a ações antrópicas (operação de reservatórios).

Em se confirmando que os eventos anômalos nas séries de vazões foram resultados de ações antrópicas, fez-se uma avaliação da opção de exclusão do período problemático da série ou até mesmo da rejeição da estação para o estudo.

Os testes usuais para verificação das igualdades da média e da variância são os testes paramétricos t-Student e F-Fisher, respectivamente, devendo nesses casos as observações serem independentes e se ajustarem à distribuição normal. A identidade da média ou da variância é aceita quando a probabilidade calculada pelos testes correspondentes é maior que o nível de significância considerado na avaliação (1 ou 5%, por exemplo).

No presente estudo, foi avaliada a “estacionariedade” da série de vazão média anual e da série de vazão anual a 95% de permanência. Apesar de não ter sido realizada uma análise da independência dessas séries, nem se sua distribuição era normal, adotaram-se, por simplificação, os testes paramétricos acima mencionados. O teste foi efetuado para diferentes pares de períodos de uma mesma série, considerando um nível de significância de 5% e um número mínimo de cinco anos para cada um desses pares. Os resultados foram determinados pelo Programa HIDROCAL, elaborado pela CPRM/RJ em visual basic, que utiliza as ferramentas do Excel (Análise de Dados) para a realização do teste de hipóteses de Student (t) e Fischer (F), sendo esses resultados apresentados nas planilhas do **ANEXO D1 e ANEXO D2**.

No programa HIDROCAL o teste t-Student é efetuado para um dos dois tipos de amostras: amostra assumindo variâncias equivalentes ou amostra assumindo variâncias diferentes. A escolha de um desses dois casos dependerá do resultado do teste da variância (teste de F). Por esse motivo é que o teste da variância deve ser realizado preliminarmente ao da média.

Associados aos resultados estatísticos apresentados nos **ANEXO D1 e ANEXO D2** estão os gráficos das séries de vazões médias mensais, que auxiliaram a avaliação da “estacionariedade” das séries (vide resultados no DVD que acompanha este relatório no **diretório: 02 – Material Digital\01 – Projeto Regionalização de Vazões\02 – Dados Fluviométricos\Séries médias mensais e anuais**). No atual estudo, as séries foram consideradas como “estacionárias”, quando o teste da média foi aceito para todos os pares de período avaliados, mesmo que rejeitado o teste da variância.

Um resumo dos resultados apresentados nos **Anexos D1 e D2** se encontra no **ANEXO D3**, com observações relevantes para aquelas estações nas quais ocorreu rejeição em pares de períodos das séries de vazões avaliadas.

Nessa fase de avaliação de “estacionariedade” das séries de vazões das estações selecionadas neste estudo, fez-se um levantamento dos barramentos existentes na bacia, para se tentar justificar a não estacionariedade de alguns períodos dessas séries. Sabe-se que na bacia existem muitos reservatórios e pequenos açudes para abastecimento e/ou irrigação.

Sendo assim, foram consultadas as Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e a secretaria do Meio Ambiente do Estado de Alagoas, os quais detém das informações desejadas. No entanto, esta última não nos forneceu os dados dos reservatórios do estado. A relação apresentada no **ANEXO C12** reúne os principais aproveitamentos hidráulicos já existentes na bacia, referentes apenas ao estado de Pernambuco.

Além disso, foi realizada uma comparação da série média anual das estações em que ocorreu rejeição no teste de “estacionariedade” com a da precipitação total anual de um posto pluviométrico que estivesse localizado próximo à estação em análise e que compreendesse quase todo o período da série de vazão correspondente, na tentativa de se identificar a procedência da anomalia de série de vazão avaliada.

No CD que acompanha o trabalho (**diretório: 02 - Material Digital\01 - Projeto Regionalização de vazões\02-Dados Fluviométricos\Hidrograma x Histograma**) estão os hidrogramas das vazões médias mensais de todo o período de cada estação estudada, juntamente com o histograma de precipitação do posto pluviométrico mais próximo, caso exista.

De acordo com o **ANEXO D3** e considerando que os resultados do teste de estacionariedade para a série de Q95% anual se sobrepõe aos do teste de estacionariedade para a série de vazões médias anuais, concluiu-se que 18 estações deveriam ser rejeitadas do presente trabalho. Dessas estações 15 tiveram suas séries de vazões não estacionárias justificadas pela existência de barramentos nos rios ou por chuvas intensas em determinados períodos.

Nesta fase do estudo, nenhuma estação foi descartada, apesar de algumas terem sido rejeitadas em alguns períodos de suas séries de vazão, sendo utilizadas as 38 estações com seus períodos completos para a próxima etapa do estudo.

5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As características fisiográficas quantificáveis tais como área de drenagem, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade e a precipitação total anual média são grandezas que podem ser utilizadas como variáveis independentes ou explicativas na análise da regressão da variável dependente Q95% e em muitos casos são função da escala do mapa utilizado. Neste trabalho as grandezas calculadas foram área de drenagem e precipitação total anual média, por meio da utilização de aplicativos de geoprocessamento (ArcView 9.3) em bases cartográficas digitais. Essas grandezas, em geral, são as que por si só ou em conjunto (A e P) explicam as vazões e são as de mais fácil obtenção.

Na aquisição das bases cartográficas digitais foi vetorizada automaticamente a altimetria e hidrografia na escala 1:100.000, a partir dos arquivos rasters originais do modelo digital de elevação SRTM de 90m fornecida pela NASA, esses obtidos por meio do site para downloads. Na referida rede de drenagem foi acrescentada os espelhos d'água dos principais açudes da Sub-Bacia 39 retirados da base planimétrica digital provenientes das cartas impressas da SUDENE\DSG\SGE, na escala 1:100.000. Essa base planimétrica foi atualizada e ajustada às imagens do mosaico Geocover, ano 2000, ortorretificado e georreferenciado de acordo com o datum WGS 84, de imagens ETM+ do satélite Landsat 7, resultante da fusão das bandas 7, 4, 2 e 8, com resolução espacial de 14,25 metros. As bases cartográficas digitais geradas pelo modelo digital de elevação SRTM foram comparadas com a base planimétrica digital obtida das cartas impressas da SUDENE\DSG\SGE, escala 1:100.000, sendo ambas praticamente iguais.

As estações do banco de dados Hidro/ANA foram incorporadas à base digital, com atualizações e correções de coordenadas pelo cadastro da própria CPRM/SUREG-RE para compatibilidade com a base cartográfica.

Área de drenagem

O projeto no qual este estudo está inserido, propõe regionalizar a vazão Q95% para todas as sub-bacias hidrográficas brasileiras, conforme já comentado. Em vista disto, foi escolhida a escala 1:1.000.000 para o traçado do contorno dessas bacias, por ser essa a melhor escala disponível para os dados de hidrografia e altimetria de todo território nacional. Esse traçado de bacias foi determinado no ano de 2000, no âmbito do convênio entre IBGE, CPRM e ANEEL, com ferramentas do ArcGis e com base em arquivos digitais vetorizados de hidrografia e altimetria na escala 1:1.000.000, também produzidos no contexto desse convênio.

As delimitações das áreas de drenagem às estações fluviométricas avaliadas (38 estações) foram realizadas no contexto do presente estudo, seguindo os mesmos procedimentos de traçado dos contornos das sub-bacias brasileiras, conforme descrito acima. Nesse processo também se recorreu a hidrografia e altimetria da base planimétrica digital, na escala 1:100.000, que abrange a Sub-Bacia-39, obtida das cartas da SUDENE/DSG/SGE), com a intenção de auxiliar a delimitações dessas bacias.

Os valores das áreas de drenagem dessas estações foram calculadas em km², considerando a projeção continental *Albert Equal Conic Area*.

As sub-bacias delimitadas se encontram no mapa das estações pré-selecionadas para o estudo de regionalização (**ANEXO C10**).

Precipitação média

A precipitação média anual foi calculada pelo cruzamento da imagem RASTER de isoietas totais anuais fornecida pelo Projeto Atlas Pluviométrico (CPRM, 2010) com o contorno das sub-bacias de contribuição às estações fluviométricas. Foram utilizados aplicativos de geoprocessamento para executar o cálculo da média dos valores dos pixels inseridos em cada bacia de contribuição (ArcToolBox/ Spatial Analyst Tools/ Zonal/ Zonal Statistic).

O **ANEXO E1** apresenta as duas grandezas calculadas para as sub-bacias das estações fluviométricas consideradas no estudo, precipitações médias (P) e áreas de drenagem (A), além dos valores das áreas informados no banco de dados Hidro/ANA (inventário) e suas diferenças. Adotaram-se para essas duas grandezas (A e P) os valores calculados neste trabalho.

6 REGIONALIZAÇÃO DA Q95% DA CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência relaciona os valores de vazão e a frequência com que esses valores ocorreram ao longo do tempo do histórico de observações, retratando assim as características de regularização natural do rio. Geralmente essas curvas apresentam inflexões que as definem em três trechos: o primeiro e o último descrevem o comportamento das vazões de máximas e mínimas, respectivamente, enquanto que o trecho médio representa a faixa dominante de vazões (volume III-bacia 40/41-CPRM/ANEEL, 2001). Usualmente, a faixa de maior interesse na curva de permanência é a compreendida entre 30% e 95% (CPRM/ANEEL, 2002). A vazão de 95% de permanência (Q95%) pode representar uma vazão mínima de um curso de água, tendo em vista ser superada em 95% do tempo. Por esse motivo, a Q95% tem sido utilizada como valor de referência para concessão de outorga de uso da água e na caracterização

da disponibilidade hídrica dos cursos d'água, além de ter aplicação na área de biologia, hidráulica, navegação e aproveitamentos hidrelétricos. Outra vazão de interesse é a vazão de 50% de permanência (Q50%), que pode ser considerada, de forma geral, como uma vazão média, sendo portanto, uma variável interessante para simular o escoamento superficial na modelagem da máxima vazão regularizável de uma bacia. Essa vazão quando associada à Q95% torna possível ajustar uma equação empírica exponencial, que em geral reproduz bem o trecho da curva de permanência entre os dois pontos: 50% e 95%. Este ajuste é realizado considerando as dificuldades de se identificar uma função regional que represente a curva de permanência por inteira (CPRM/ANEEL, 2002).

Neste estudo objetiva-se obter equações regionais de regressão apenas da vazão com 95% de permanência. Sendo assim, adotou-se a seguinte sequência de trabalho:

- determinou-se a curva de permanência de cada estação fluviométrica selecionada para o estudo, obtendo-se os valores das vazões correspondentes a 50 e 95% de permanência (Q50% e Q95%);
- com os valores Q50% e Q95% ajustaram-se, para cada estação, curvas exponenciais que foram comparadas com as curvas de permanência dos valores observados, demonstrando, em geral, um ajuste satisfatório para a faixa de maior interesse, que é de 50 a 95%;
- Fez-se uma análise de regressão de Q95% com as variáveis explicativas relacionadas às características climáticas e físicas da sub-bacia, precipitação média e área de drenagem, levando em consideração as avaliações dos dados de cada estação fluviométrica realizadas neste trabalho (às *Notas atribuídas às Estações, Continuidade das Vazões e Teste de Estacionariedade*), com o intuito de se obter funções $Q95\% = f(A, P)$ ou $Q95\% = f(A)$ ou $Q95\% = f(P)$ e de se determinar as regiões estatísticas e hidrológicamente homogêneas para a Q95%.

6.1 CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES DIÁRIAS

As séries de vazões utilizadas para a curva de permanência foram as de valores diários das estações com pelo menos 5 anos de dados (estações pré-selecionadas conforme capítulo 4.2.3), não sendo realizado preenchimento de falhas.

Todas as curvas de permanência das estações foram determinados por meio do programa HIDROCAL, com saída em planilhas EXCEL. O procedimento foi ordenar de forma decrescente as vazões diárias das estações, o que obtém a ordenada, e acumular as frequências no sentido da maior vazão para a menor vazão, obtendo assim a abscissa da curva.

Os valores de 50% e de 95% de permanência de vazões foram obtidos da interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para as frequências de 50% e 95%, respectivamente.

O ajuste de uma equação exponencial para a curva de permanência geralmente apresenta resultados satisfatórios para a faixa de vazões correspondentes aos valores característicos utilizados para o seu ajuste. Pode-se adotar como modelo a equação exponencial $Q = \exp(aP + b)$, onde P é a probabilidade (valores entre 0 e 1), e a e b são coeficientes que podem ser estimados por mínimos quadrados ou através de valores característicos.

Utilizando a vazão de 50 e 95% da curva de permanência obtém-se:

$$a = -\ln(Q_{50\%}/Q_{95\%})/0,45$$

$$b = \ln Q_{50\%} - 0,5 a,$$

onde Q50% e Q95% são as vazões de 50 e 95% da curva de permanência, respectivamente.

Nas Figuras do **ANEXO F1** pode-se observar que os valores de vazão estimados pela equação reproduzem bem a curva observada na faixa dos valores de Q50% a Q95%.

Dos 38 postos pré-selecionados, 9 foram descartados por apresentarem vazões zero em noventa e cinco por cento do tempo. A **Tabela 6.1** apresenta a relação das 29 estações efetivamente utilizadas nos estudos.

Tabela 6.1 – Relação das estações utilizadas no estudo de regionalização da Q95 na Sub-Bacia 39

Estação Código	Estação_Nome	Rio	Município	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Período
39040000	NAZARÉ DA MATA	RIO TRACUNHAÉM	NAZARÉ DA MATA	-7,754166667	-35,23305556	1967 - 2006
39080000	ENGENHO ITAPISSIRICA	RIO TRACUNHAÉM	GOIANA	-7,613055556	-35,06472222	1967 - 2006
39083000	ENGENHO RETIRO	RIO SIRIUI	CONDADO	-7,557777778	-35,1175	1977 - 2006
39084000	CARICÉ	RIO CAPIBERIBE MIRIM	ITAMBÉ (EX-TAMBÉ)	-7,542777778	-35,06861111	1999 - 2006
39155000	ENGENHO SÍTIO	RIO GOITA	GLÓRIA DO GOITA	-7,969722222	-35,15944444	1967 - 1999
39170000	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	RIO TAPACURÁ	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	-8,113611111	-35,28388889	1967 - 2006
39180000	ENGENHO BELA ROSA I	RIO TAPACURÁ	SÃO LOURENÇO DA MATA	-8,016666667	-35,11666667	1967 - 1993
39187800	SÃO LOURENÇO DA MATA	RIO CAPIBARIBE	SÃO LOURENÇO DA MATA	-7,998611111	-35,03916667	1989 - 2006
39191000	PONTE PE-35	RIO PIRAPAMA	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	-8,2425	-35,26472222	2000 - 2006
39192000	CACHOEIRA TAPADA	RIO PIRAPAMA	ESCADA	-8,263611111	-35,25972222	2000 - 2006
39195000	DESTILARIA INEXPORT	RIO PIRAPAMA	CABO DE SANTO AGOSTINHO	-8,282222222	-35,15666667	2000 - 2006
39200000	PIRAPAMA	RIO PIRAPAMA	CABO DE SANTO AGOSTINHO	-8,283333333	-35,06611111	1986 - 2006
39220000	DESTILARIA BOM JESUS	RIO GURJAU	CABO DE SANTO AGOSTINHO	-8,251111111	-35,01305556	2000 - 2006
39360000	ENGENHO TABOCAS	RIO IPOJUCA	POMBOS	-8,281944444	-35,36472222	1967 - 2006
39450000	ENGENHO BENTO	RIO SIRINHAEM	JOAQUIM NABUCO	-8,497222222	-35,49777778	1999 - 2006
39480000	ENGENHO MATO GROSSO	RIO SIRINHAEM	RIO FORMOSO	-8,6375	-35,30555556	1989 - 2006
39550000	CATENDE	RIO PIRANGI	CATENDE	-8,678611111	-35,72333333	1999 - 2006
39560000	PALMARES	RIO UNA	PALMARES	-8,679444444	-35,57694444	1967 - 2006
39580000	JACUIPE	RIO JACUIPE	JACUIPE	-8,841111111	-35,44694444	1989 - 2006
39640000	MATRIZ DE CAMARAGIBE	RIO CAMARAGIBE	MATRIZ DE CAMARAGIBE	-9,129722222	-35,5475	1978 - 2002
39760000	MURICI - PONTE	RIO MUNDAU	MURICI	-9,313611111	-35,94972222	1965 - 2006
39770000	FAZENDA BOA FORTUNA	RIO MUNDAU	RIO LARGO	-9,467222222	-35,85972222	1965 - 2006
39870000	ATALAIA	RIO PARAIBA	ATALAIA	-9,506666667	-36,02277778	1977 - 2006
39950000	FAZENDA SÃO PEDRO	RIO SÃO MIGUEL	ANADIA	-9,685833333	-36,28527778	2000 - 2006
39980000	CAMAÇARI	RIO CORURIFE	CORURIFE	-10,031111111	-36,30361111	1977 - 2006
39700000	SANTANA DO MUNDAU	RIO MUNDAU	SANTANA DO MUNDAU	-9,167777778	-36,2175	1990 - 2006
39720000	SÃO JOSÉ DA LAJE	RIO CARURU	SÃO JOSÉ DA LAJE	-9,004166667	-36,05111111	1990 - 2006
39740000	UNIÃO DOS PALMARES	RIO MUNDAU	UNIÃO DOS PALMARES	-9,154444444	-36,03583333	1990 - 2006
39890000	VIÇOSA	RIO PARAIBA	VIÇOSA	-9,379166667	-36,24916667	1989 - 2006

Os valores de Q50% e Q95% das estações selecionadas estão apresentados no **ANEXO F2**.

6.2 INDICADORES DA VARIABILIDADE REGIONAL

A relação da curva de permanência rcp_{95} é um indicador regional que auxilia na identificação de possíveis agrupamentos de estações com comportamento semelhantes.

A relação entre a vazão de 95% da curva de permanência e a vazão média de longo período $rcp_{95} = Q_{95}/Q_{MLT}$ permite estimar a primeira em função da segunda, se o indicador regional for conhecido. Este índice pode apresentar pequena variação numa região, à medida que as características que determinam a sua proporcionalidade tenham pequena variabilidade de um local para outro. A vazão de 95% é um valor característico do comportamento de estiagem dos cursos d'água e a vazão média é a síntese de todas as vazões ao longo do tempo.

O **ANEXO F3** apresenta a relação rcp_{95} para as estações selecionadas neste estudo e as **Figuras 6.1 a 6.2** relacionam esse índice com a área de drenagem ao longo dos principais rios da Sub-Bacia 39 (Litoral e Agreste).

Os valores de rcp_{95} para as estações no agreste variaram de 0,003 a 0,179. A estação de Viçosa no rio Paraíba apresentou um valor de rcp_{95} igual a 0,003. No litoral variaram de 0,010 a 0,378. Na bacia GL2 os valores variam de 0,04 a 0,38, apresentando bastante dispersão, conforme mostra o gráfico da **Figura 6.1**.

Nesses gráficos ocorrem dispersões que não esclarecem a formação de regiões que possam ser homogêneas hidrologicamente com respeito à variável estudada. Verificam-se comportamentos altamente diversificados dentro da bacia, como o caso da bacia GL2. Entretanto existe um agrupamento entre as estações da bacia do rio Goiana, Capibaribe e Paraíba, podendo ser o primeiro agrupamento pré-definido. No segundo seria o agrupamento das estações da bacia do rio Ipojuca, Una, Sirinhaém e Coruripe. Sendo assim, esses agrupamentos de estações foram as primeiras tentativas de regiões homogêneas para a Q95. No próximo item deste relatório se avaliarão outras alternativas de agrupamentos de estações, com base nos resultados estatísticos da regressão definida entre a variável dependente Q95% e as explicativas, área de drenagem (A) e precipitação média (P).

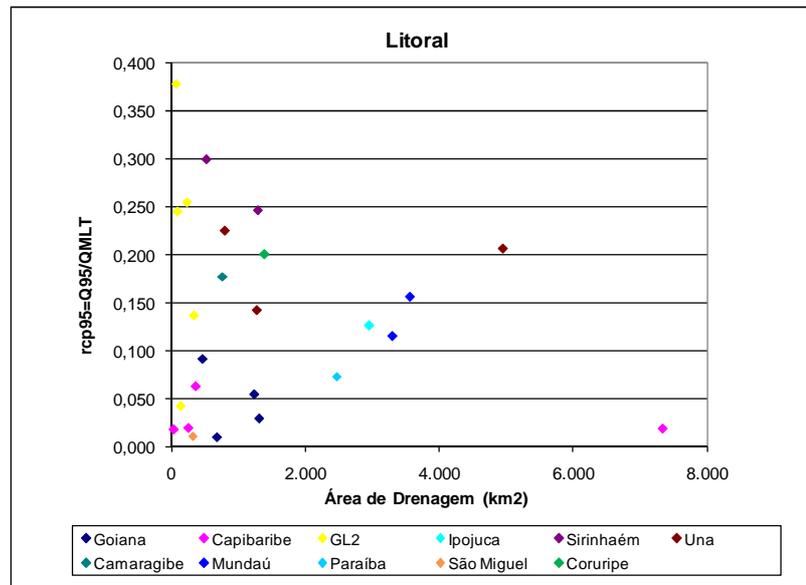


Figura 6.1 – Índice rcp95 x Área de Drenagem (estações no Litoral)

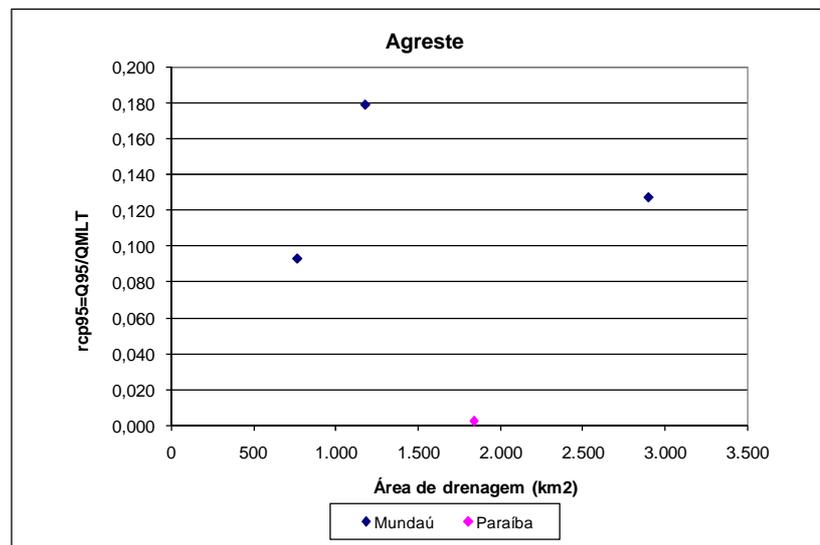


Figura 6.2 – Índice rcp95 x Área de Drenagem (estações no Agreste)

6.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS VAZÕES Q95%

A análise de regressão buscou encontrar grupos de estações, cujas vazões de 95% de permanência ou variações dessas pudessem se correlacionar com as variáveis explicativas: área de drenagem das estações e a precipitação média nestas áreas. Além disso, procurou-se agrupar aquelas estações que estivessem em regiões próximas e que suas áreas de drenagem em conjunto apresentassem características regionais semelhantes. Neste estudo de regressão as estações com Q95=0 foram excluídas, restando 29 para análise de regressão de Q95% na Sub-Bacia 39. Utilizou-se a ferramenta Excel - Microsoft Office 2003/2007, com funções de regressão (Análise de Dados - Regressão e Solver) para o ajuste das equações de regressão de Q95%, avaliando os

resultados estatísticos desses ajustes com base no coeficiente de determinação (R – quadrado) e nos desvios relativos entre a variável calculada pela equação e a variável observada.

Antes de se iniciar o estudo de regressão propriamente dito, fez-se uma comparação entre a vazão de 95% de permanência das 29 estações selecionadas com a área de drenagem e a precipitação média anual correspondentes e entre a vazão específica de 95% de permanência dessas estações com a precipitação média anual, apresentando baixa correlação em todos os casos, conforme consta nas **Figuras 6.3 a 6.5**.

Diversas possibilidades de regressões foram testadas para todas as estações da Sub-Bacia 39: Q95% versus área de drenagem, versus precipitação média e versus os logaritmos de todas as variáveis envolvidas. Também se estudou as vazões específicas de 95% de permanência com as variáveis explicativas e as possibilidades com logaritmo. Além das regressões simples, também se estudou os ajustes com as regressões múltiplas, ou seja, procurou-se avaliar também o relacionamento da variável dependente (Q95%) com as duas variáveis independentes em conjunto (A e P). Avaliando-se os resultados estatísticos dessas alternativas de regressões para todas as estações da Sub-Bacia 39, chegou-se a conclusão que as melhores possibilidades de agrupamento viriam da regressão entre o logaritmo das vazões específicas de 95% de permanência e o logaritmo das precipitações médias anuais, e também da regressão múltipla do logaritmo da Q95% específica com a área de drenagem e a precipitação média anual (não logaritimizados), a primeira com R-quadrado levemente melhor que a última. Os resultados dessa análise encontram-se no **ANEXO F4**.

Após a escolha dos melhores tipos de regressões definidos entre variável dependente e as independentes, procurou-se agrupar estações cujos valores de $\text{Log}Q_{95\%}\text{específico} \times \text{Log}P$ apresentasse, a partir de observação gráfica, uma possível relação linear e que estivessem próximas entre si. Em um segundo momento foi realizada a regressão linear entre essas variáveis por meio da ferramenta do Excel em *Análise de Dados – Regressão*. Quando os desvios relativos entre a Q95% observada e a calculada pela equação de regressão para algumas estações estavam fora do intervalo de tolerância de $\pm 25\%$, retiravam-se esses postos do agrupamento avaliado e uma nova regressão era realizada com os dados das estações remanescentes.

Assim, foram feitas várias tentativas na busca de se melhorar o resultado do ajuste entre a Q95% e suas variáveis explicativas em termos do aumento do coeficiente de determinação e na diminuição dos resíduos. Com base nisto foram propostas duas regiões homogêneas para a Q95%. A seguir é apresentado o procedimento detalhado para a definição de cada uma dessas regiões.

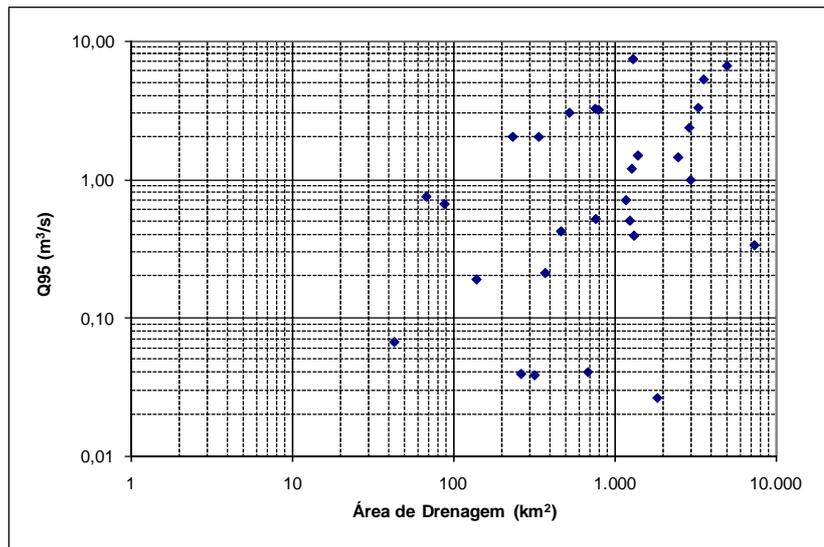


Figura 6.3 – Vazão de 95% de permanência x Área de Drenagem (km²)

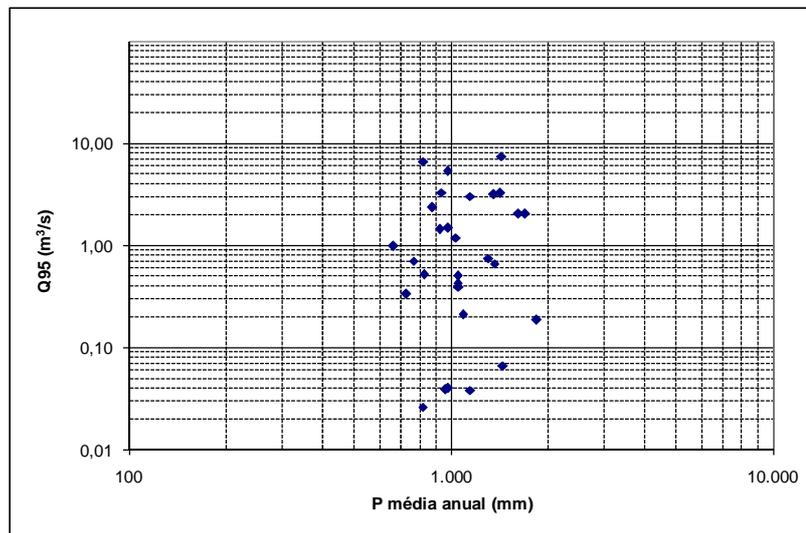


Figura 6.4 – Vazão de 95% de permanência x Precipitação média anual (mm)

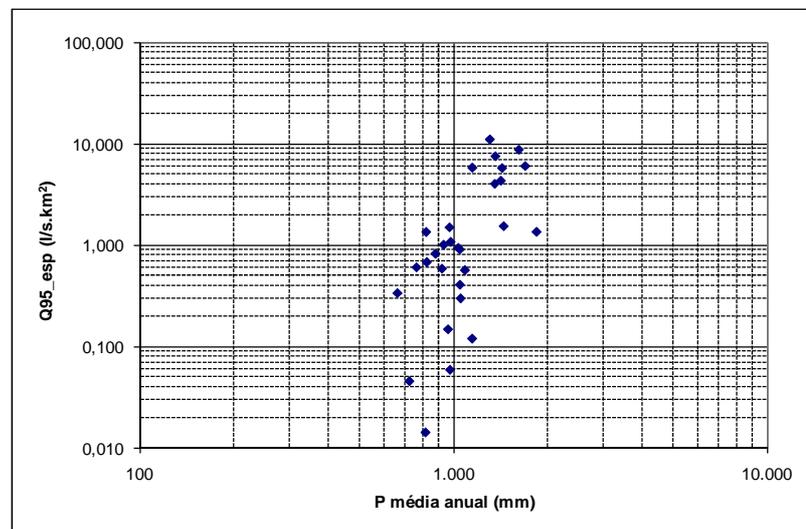


Figura 6.5 – Vazão específica de 95% de permanência x Precipitação média anual (mm)

Na região I, foi avaliado um total de 10 tentativas de agrupamentos de estações com regressões simples e múltiplas. A partir da 7ª tentativa foram feitas outras três tentativas com a utilização de um índice de precipitação reduzido (P-P₀), por meio da atribuição de um valor de precipitação inicial, a partir do qual aconteceria o escoamento superficial. Isso foi feito devido ao elevado expoente obtido para a precipitação, acarretando coeficientes de escoamento altos, e ao desvio maior que 25% da estação 39200000 (Pirapama). Foram feitas regressões com P₀ nos valores de 0,14, 0,20 e 0,23 m.

As estações 39191000 (Ponte PE 35), 39192000 (Cachoeira Tapada), 39220000 (Destilaria Bom Jesus), 39450000 (Eng. Bento), 39550000 (Catende) e 39950000 (Fazenda São Pedro) foram eliminadas da região I por apresentarem desvios altos, podendo ser atribuídos em decorrência de falhas no período ou do período relativamente curto de dados de vazões completas.

A estação 39200000 (Pirapama) foi descartada do estudo da região I por apresentar desvios altos em relação às demais estações envolvidas. Isso pode ser atribuído à imprecisão no ajuste da curva-chave, devido a vários tipos de aproveitamentos a montante da estação que influenciam os níveis. Na época de estiagens o rio escoava por dois canais.

A estação 39560000 (Palmares) foi eliminada do estudo da região I por apresentar desvios elevados, em razão de se localizar em bacia hidrográfica de características geológicas heterogêneas.

A estação 39870000 (Atalaia) apresentou desvios altos no estudo da região I, podendo ser devido à estação, na época de estiagem, acumular vegetação aquática, obstruindo parcialmente o escoamento e provocando imprecisão no ajuste inferior da curva-chave. Vale lembrar, que esta estação foi rejeitada no teste de estacionariedade da Q95 de 1990 a 1998.

A estação 39890000 (Viçosa) foi retirada na tentativa 6 de colocá-la na região I. Nas grandes estiagens o rio deixa de escoar.

Na região II, foram feitas um total de 16 tentativas com regressões simples e múltiplas. E também foram testados a utilização de índice de precipitação reduzido (P-P₀), devido ao elevado expoente obtido para a precipitação, e ao desvio maior que 25% da estação 39155000 (Engenho Sítio) e da estação Engenho Belo Rosa I (39180000). Foram feitas regressões com P₀ nos valores de 0,14, 0,20, 0,33, 0,35, 0,38, 0,43, 0,44, 0,45, 0,46 e 0,50 m. O melhor resultado foi com P₀ = 0,43 m, cuja equação apresentou um R² ajustado de 0,9747, mas a estação São Lourenço da Mata apresentou desvio maior que 25% (34,5%).

A estação 39040000 (Nazaré da Mata) apresentou desvios altos sendo retirada na tentativa

5 de colocá-la na região II, que podem ser atribuídos a imprecisão no trecho inferior da curva-chave ou a mudanças no regime hidrológico provocadas pela acumulação de água a montante da estação. A análise da série de vazões mostra considerável redução nas vazões de estiagem a partir de meados dos anos oitenta.

A estação 39083000 (Eng. Retiro) também apresentou desvios altos e foi retirada na tentativa 6 de colocá-la na região II, que podem ser atribuídos a imprecisão no trecho inferior da curva-chave a partir de 1996, apresentando poucas medições.

Foram revisadas todas as tentativas e por último foi feita a tentativa 16, com as mesmas estações da tentativa 6, retirando apenas a estação 39180000 (Eng. Belo Rosa I). Nesse caso foi utilizado o ajuste exponencial da Q95% específica e a precipitação e o ajuste potencial do logaritmo da Q95% específica e o logaritmo da precipitação, tendo a primeira o melhor resultado.

A análise empreendida gerou uma grande quantidade de resultados intermediários que não foram impressos. Esses apenas orientaram as decisões de novas divisões ou exclusão de estações. Esses resultados encontram-se no DVD que acompanha o trabalho.

As áreas de drenagem das estações excluídas durante a avaliação das regiões homogêneas para a Q95 da Sub-Bacia 39 comporam juntamente com as dos postos com Q95=0 uma região indefinida.

As equações de regressão regional para as vazões de 95% de permanência Q_{95} da Sub-Bacia 39 são apresentadas no quadro a seguir, que também informa os valores de R^2 ajustado e limites de validade para área de drenagem e precipitação.

Tabela 6.2 – Equações de regressão regional para a Q95%

Região Homogênea	Equação regional Sendo: Q(l/s), AD (km ²) e P (m)	R ² Ajustado	Validade AD (km ²) e P (m)
I	$Q_{95} = 1,392 \times P^{3,587} \times AD$	0,9862	235 < AD < 3.560 0,663 < P < 1,618
II	$Q_{95} = 7,7497 \times 10^{-5} \times e^{(0,0080105 \times P)} \times AD$	0,9789	264 < AD < 7.343 0,724 < P < 1,089

6.4 REGIÕES HOMOGÊNEAS E FUNÇÕES REGIONAIS

A Sub-Bacia 39 apresenta grande diversidade no regime hidrológico de seus rios, em decorrência de regiões de clima e geologia diferenciados. Assim, a delimitação de regiões

homogêneas, ficou prejudicada na medida em que não se dispõe de séries hidrológicas numericamente suficientes e bem distribuídas pela área em estudo.

No **ANEXO G** é apresentado um mapa com as duas regiões homogêneas e uma região indefinida delimitadas neste projeto para a Sub-Bacia 39. Junto a este mapa encontra-se um quadro com as equações regionais que relaciona a vazão de 95% de permanência (m^3/s) em função das variáveis explicativas: área de drenagem (km^2) e precipitação média anual (m).

As regiões definidas foram diferentes das estabelecidas no estudo de 2001. Enquanto que no presente estudo foram propostas duas regiões homogêneas e uma região indefinida, no estudo anterior foi definida apenas uma região homogênea e uma região indefinida similar ao do atual trabalho. Essa diferença pode em parte ser explicada pelo número de estações que foram inseridas neste estudo, ora pela inserção de novas estações, ora pelo aumento dos anos de dados das estações, que naquela época, tinham poucos anos de dados ou insuficientes para um estudo de regionalização.

O limite do traçado das regiões levou em consideração vários fatores para sua definição. Os contornos das áreas de drenagens das estações dos agrupamentos de cada região, as unidades geológicas e domínios hidrogeológicas, foram utilizados como restrição de limite, principalmente entre regiões distintas.

A Região I, com 11 estações, engloba quase toda a faixa litorânea da Sub-Bacia 39, bastante parecida com a Região I no estudo de 2001 que abrangia toda a faixa litorânea.

A Região II, com 5 estações, engloba uma área com muitos reservatórios/barramentos. No estudo anterior esta região fazia parte da única região definida, a Região I.

A extrapolação em áreas com reservatórios foi considerada com cautela, evitando o uso das equações em regiões previamente sem fluxo natural dos cursos d'água ou afetadas hidrológicamente. Quando não havia estações de monitoramento nesses trechos de cursos de águas comprometidos ou, em havendo estações a montante sem afinidade com o grupo, o traçado da região parava na própria estação.

A área da sub-bacia situada mais a oeste, onde os rios são intermitentes e permanecem secos durante o período de estiagem foi considerada como indefinida. As regiões onde se localizam as estações fluviométricas que não participaram das duas regiões homogêneas obtidas também foram inseridas na Região Indefinida, conforme já comentado no item anterior.

6.5 APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Para se conhecer o valor de vazão de 95% de permanência dentro das regiões da Sub-Bacia 39, manualmente, procura-se determinar o ponto de interesse dentro de um rio de uma das 02 regiões no Mapa das Regiões Homogêneas da Sub-Bacia 39 (**ANEXO G**). Este mapa possui a Hidrografia na escala de 1:1.000.000 e as isoietas de Precipitação Média Anual fornecido pela projeto do Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2010). Delimita-se a área de drenagem de interesse, com auxílio de carta altimétrica, a partir deste ponto, sem preocupação com o limite das regiões homogêneas obtidas, ou de regiões indefinidas. Calcula-se, então, o valor da área de drenagem em Km^2 com planímetro. A precipitação média anual da área de drenagem em questão é obtida planimetrando-se cada área entre as isoietas e multiplicando-a pela média aritmética das respectivas isoietas. Posteriormente, soma-se os produtos obtidos de cada sub-área e divide-se pela própria área de drenagem, obtendo-se o valor da precipitação em milímetros de chuva que deve ser transformado para metros de chuva. Aplicam-se os valores obtidos das suas variáveis, respectivamente, área de drenagem em Km^2 e Precipitação média da área, em metros, de acordo com a equação regional relacionada ao ponto do mapa escolhido e obtém-se a vazão estimada para 95% de permanência. Cumpre lembrar que os valores da área de drenagem e da precipitação total anual média, definidos para o referido ponto em avaliação devem estar compreendidos entre os limites de validade correspondentes estabelecidos para a equação regional da Q95% utilizada.

De modo computacional, de posse do software ArcGIS 9.3 e a partir do projeto digital em SIG fornecido neste projeto, pode-se delimitar a área a partir do ponto no rio onde se quer saber a Q95% estimada, de modo manual, determinando um polígono, ou a partir de modelo digital de terreno com processo apropriado. Lembrando sempre que o ponto escolhido deve pertencer à área de umas das duas regiões homogêneas que possuem as equações regionais. Calcula-se a área de estudo, por exemplo, pela ferramenta XToolsPRO em Km^2 . E por meio do processo ArcToolBox/ Spatial Analyst Tools/ Zonal/ Zonal Statistic, selecionando a shape com a área de drenagem do posto em estudo e o RASTER/GRID das isoietas anuais do projeto Atlas, condicionando o campo Statistic Type a MEAN, obtém-se o valor da precipitação média anual da área de interesse em milímetros de chuva, posteriormente transformando esse valor para metros de chuva. E como já foi dito, aplica-se a equação apropriada da região homogênea com os valores das variáveis explicativas obtidas coerentemente em suas unidades dimensionais.

Para todos os casos deve-se lembrar que caso ocorra à necessidade de se conhecer o valor da vazão de 95% de permanência, nos locais onde já existam estações fluviométricas utilizadas

na determinação das Regiões I e II, os valores dessas serão mais precisos que a própria equação regional. Desta forma deve-se optar, não pelo cálculo, e sim pelo valor real da Q95%.

Lembramos que a equação não deve ser aplicada a cursos d'água que possuam em sua área de drenagem barragens que alterem seu regime natural.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Sub-Bacia 39 apresentou duas regiões homogêneas e uma região indefinida e os ajustes de suas equações foram considerados satisfatórios para o agrupamento de estações da Região I e II. A precipitação foi considerada uma variável importante e determinante na estimativa da vazão Q95%.

Como em todo estudo de regionalização é necessário que as limitações de uso das equações sejam respeitadas (faixa de validade de A e P).

A Sub-Bacia 39 que apresenta grandes variações nas características de relevo, geológicas, pedológicas e climáticas, aliadas aos inúmeros reservatórios de acumulação de água implantados ao longo dos anos, está caracterizada por um regime hidrológico bastante diversificado para os rios da região, ou mesmo para trechos de um mesmo rio.

As séries disponíveis, além de apresentarem curta extensão, têm as limitações próprias de regiões semiáridas ou de alta densidade populacional, com periódicas mudanças na curva de calibragem das estações, fruto de modificações no leito dos rios.

Para essas condições, a aplicação das técnicas de regionalização, baseadas essencialmente em processos estatísticos, exige uma maior disponibilidade de séries de vazões de postos fluviométricos do que em regiões de características mais homogêneas.

A partir da análise da variabilidade regional das vazões, das regressões e seus respectivos desvios, bem como das características gerais da sub-bacia, tornou-se precisa a identificação de possíveis grupos de estações, mas não dos limites das regiões homogêneas. Uma definição mais precisa exigiria, além de uma maior quantidade de estações com séries de vazões, o aprofundamento de estudos hidrogeológicos e a utilização de informações hídricas dos açudes de médio e grande porte (volumes armazenados, defluências, afluições, etc.).

O uso da regionalização tem por finalidade auxiliar no planejamento dos recursos hídricos. Desta forma, implica dizer que é inevitável a manutenção destes estudos para disponibilizar tal ferramenta no gerenciamento adequado dos recursos hídricos, sendo inexorável sua atualização e a conservação da rede hidrometeorológica que é a base de sustentação deste estudo.

Recomenda-se que, sempre que possível sejam utilizados os dados de rede fluviométrica existente nos rios e açudes, para subsidiar os aproveitamentos e a gestão de recursos hídricos. Na falta desses, a função regional apresentada nesse estudo é uma indicação boa para a disponibilidade hídrica em rios não controlados por grandes reservatórios de acumulação.

Observa-se que no processo de determinação das regiões homogêneas algumas extrapolações foram necessárias, uma vez que a densidade de postos de monitoramentos das vazões é baixa. Juntando-se a esta situação, ocorre a interferência humana, principalmente com barramentos dos rios, e a dificuldade em se obter informações cadastrais destes, tais como, coordenadas, regime de operação e finalidade destes perante os seus usos, levando desta maneira a aumentar as incertezas dos resultados obtidos nesta pesquisa. Sendo assim, recomenda-se, ainda, a instalação de postos fluviométricos.

As sugestões de novas estações neste estudo foram feitas em conjunto com a equipe da CPRM/SUREG-RE, responsável pela operação da Rede Hidrometeorológica da Sub-Bacia 39. Entretanto, ainda deve-se avaliar, em campo, a possibilidade da implantação dessas estações fluviométricas, uma vez que uma estação operando de forma irregular ou instalada em trecho do rio inadequado apresentará séries de vazões inconsistentes e de nada servirá para o estudo de regionalização.

Encontra-se no **ANEXO H**, um mapa com as estações fluviométricas propostas neste projeto. Este mapa contém as estações propostas mais recomendadas com a intenção de aumentar a quantidade de dados sobre o comportamento fluviométrico nas regiões homogêneas obtidas e na Região Indefinida, ainda que a bacia atenda as recomendações da OMM.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - *Inventário das Estações Pluviométricas*. Agência Nacional de Águas - Brasília, 2009.

___ - *Inventário das Estações Fluviométricas*. Agência Nacional de Águas - Brasília, 2009.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Banco de Dados on Line Geobank* (2010), em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (2010). Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (em desenvolvimento).

___ - *Regionalização de Vazões da Sub-bacia 39 bacias litorâneas de Pernambuco e Alagoas*. Tomos I e II. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais Superintendência de Recife, 2001.

___ - BOMFIM, Luíz Fernando Costa; AGUIAR, Carlos José B. de; BEATO, Décio Antônio C.; TRAININI, Douglas Roberto; ROCHA, Dunaldson Guedes da - Sureg/RE; SANTOS, Elias Bernard da S. E; MELO JUNIOR, Homero Reis de; THOMÉ FILHO, Jamilo J.; JESUS, José Domingos Alves de; MACHADO, José Luiz Flores; BOMFIM, Luíz Fernando Costa; SILVA FILHO, Marinho Alves da; ARAUJO, Paulo Pontes. *Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil*: Sistema de Informações Geográficas, escala 1:2.500.00. Rio de Janeiro, 2007. 1 CD ROM.

___/ANEEL, 2002. Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 - tomo I. Convênio CPRM/ANEEL nº015/2000 – 013/CPRM/00.

ELETROBRÁS (2009). *Diagrama Topológico das Bacias Hidrológicas Brasileiras*. Divisão de Estudos de Inventário e Hidrologia.

LAPPONI, JUAN CARLOS (2005). *Estatística usando o Excel*. 4ª edição, Elsevier. Rio de Janeiro

SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO – SECTMA-PE (2006). *Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco*; coordenação técnica de Simone Rosa da Silva. Recife.

TUCCI, C. E. M. (2002). *Regionalização das Vazões*. Agência Nacional de Águas - ANA - IPH - Ed. UFRGS. Porto alegre.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Agência Nacional de Águas - ANA - IPH - Ed. UFRGS. Porto alegre.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM (2010). *Inventário Florestal Contínuo On Line*. Consulta em Janeiro de 2010, em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/resulfito.htm>

US GEOLOGICAL SURVEY – USGS (2010). Consulta em Agosto de 2009, em: <http://seamless.usgs.gov/>

ANEXOS

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS

ANEXO A1 – PERFIL LONGITUDINAL

ANEXO A2 – DIAGRAMA UNIFILAR

ANEXO A3 – MAPA DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA

ANEXO B – DADOS PLUVIOMÉTRICOS

ANEXO B1 – INVENTÁRIO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

**ANEXO B2 – PERÍODO DE DADOS DAS ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO DE DETERMINAÇÃO
DAS ISOIETAS TOTAIS ANUAIS**

ANEXO B3 – REPRESENTAÇÃO DAS ISOIETAS ANUAIS

ANEXO C – DADOS FLUVIOMÉTRICOS

ANEXO C1 – INVENTÁRIO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

ANEXO C2 – DISPONIBILIDADE DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

**ANEXO C3 – ESTATÍSTICA DA DISPONIBILIDADE DE DADOS
FLUVIOMÉTRICOS**

**ANEXO C4 – RECOMENDAÇÕES MÍNIMAS DA OMM PARA REDES
FLUVIOMÉTRICAS**

**ANEXO C5 – CRITÉRIOS PARA ATRIBUIÇÃO DE QUALIDADE ÀS
ESTAÇÕES**

ANEXO C6 – NOTAS ATRIBUÍDAS ÀS ESTAÇÕES DA BACIA 39

ANEXO C7 – ESTATÍSTICAS DAS NOTAS ATRIBUÍDAS ÀS ESTAÇÕES

**ANEXO C8 – VERIFICAÇÃO DA CONTINUIDADE DAS VAZÕES
MÉDIAS DE LONGO PERÍODO**

**ANEXO C9 – VERIFICAÇÃO DA CONTINUIDADE DAS VAZÕES DE
Q95% DE PERMANÊNCIA**

**ANEXO C10 – MAPA DAS ESTAÇÕES PRÉ-SELECIONADAS PARA O
ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO**

**ANEXO C11 – HIDROGRAMA CONJUNTO DA ESTAÇÃO DE MESMA
LOCALIZAÇÃO**

ANEXO C12 – INVENTÁRIO DOS RESERVATÓRIOS

ANEXO D – ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES DE VAZÕES

ANEXO D1 – VAZÃO MÉDIA ANUAL

ANEXO D2 – VAZÃO ANUAL DA Q95

ANEXO D3 – TABELA DE ANÁLISE DAS ESTACIONARIEDADE

ANEXO E – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS

**ANEXO E1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS –
VARIÁVEIS EXPLICATIVAS**

**ANEXO F – REGIONALIZAÇÃO DA Q95 DA CURVA DE
PERMANÊNCIA**

**ANEXO F1 – RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM SUAS RESPECTIVAS
Q50% E Q95%**

ANEXO F2 – CURVAS DE PERMANÊNCIA

**ANEXO F3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E INDICADORES
REGIONAIS**

**ANEXO F4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DA VAZÃO DE
PERMANÊNCIA 95%**

ANEXO G – MAPA DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

ANEXO H – MAPA DAS ESTAÇÕES PROPOSTAS