

Estudo Hidrológico: Potencialidades e Disponibilidades Hídricas das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul

21001-ETP3-S-00-02

Elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Litorâneas da Paraíba



Somos todos
PARAÍBA
Governo do Estado



QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento		21001-ETP3-RP3-S-00-02	
Título		Estudo Hidrológico: Potencialidades e Disponibilidades Hídricas	
Aprovação por:		Lawson Francisco de Souza Betrame	
Data da Aprovação:		01/12/2022	
Controle de Revisões			
<i>Revisão Nº</i>	<i>Natureza</i>	<i>Data</i>	<i>Aprovação</i>
00	Emissão Inicial	17/06/2022	LB
01	Revisão	12/08/2022	LB
02	Revisão	01/12/2022	LB



EQUIPE DA CONTRATANTE

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA

Porfírio Catão Cartaxo Loureiro – Diretor Presidente

Beranger Arnaldo de Araújo – Diretor Executivo de Acompanhamento e Controle

Joacy Mendes Nóbrega – Diretor Executivo Administrativo e Financeiro

Waldemir Fernandes Azevedo – Diretor Executivo de Gestão e Apoio Estratégico

SEIRHMA – SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE

Deusdete Queiroga Filho – Secretário de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente

Virgiane da Silva Melo – Secretária Executiva da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente

GESTOR DO CONTRATO FERH Nº 0011/2021

Beranger Arnaldo de Araújo

Secretária: Maria Itaci Costa Leal

GRUPO DE ACOMPANHAMENTO DA ELABORAÇÃO DO PRHBHL – GET

1. AESA

Titular: Rosa Maria Lins Bonifácio

Suplente: Francisco José de Brito Sousa

2. SEIRHMA

Titular: Salatiel Dias da Silva

Suplente: Bárbara Meira de Oliveira

3. SEDAP

Titular: José Marinho de Lima

Suplente: Demilson Lemos de Araújo

4. CAGEPA

Titular: Otoniel Pedrosa de Alencar

Suplente: Laudízio da Silva Diniz

5. SUDEMA

Titular: Marcelo Antônio C. C. de Albuquerque

Suplente: João Carlos de Miranda e Silva

6. CBH-LN

Titular: Mirella Leôncio Motta e Costa

Suplente: Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro

7. CBH-LS

Titular: Maria Edelcides Gondim de Vasconcelos

Suplente: Flávia Dias Suassuna

8. CERH

Titular: José Etham de Lucena Barbosa

Suplente: Ricardo Lavor Cavalcanti

9. CTGI

Titular: Edmundo Coelho Barbosa

Suplente: Leonardo Leite Brasil Montenegro



EQUIPE DA ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS

EQUIPE CHAVE

COORDENADOR

Lawson Francisco de Souza Beltrame – Eng. Agrônomo – CREA RS010020

ESPECIALISTA EM HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

Graziela Zim – Eng^a. Civil – CREA RS104270

ESPECIALISTA EM QUALIDADE DE ÁGUA, TRATAMENTO DE ÁGUA E HIDROBIOLOGIA

Luiz Fernando de Abreu Cybis – Eng. Civil – CREA RS039005

ESPECIALISTA EM HIDROLOGIA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Maurício Dambros Melati – Eng. Ambiental - CREA RS212995

ESPECIALISTA EM AGRONOMIA / AGRÍCOLA

Luiz Alberto Pinto Gondim – Eng. Agrônomo – CREA RS 012906

ESPECIALISTA EM PROGRAMAS, ORÇAMENTOS E CUSTOS

Mateus Michelini Beltrame – Administrador– CRA RS028948/O

ESPECIALISTA EM SOCIOECONOMIA

Tânia Maria Zanette– Cientista Política e Economista -CORECON RS2636

ESPECIALISTA EM TI E SIG

Elisa de Mello Kich – Eng^a. Ambiental - CREA RS211253

GERENTE DO CONTRATO

Bernardo Visnievski Zacouteguy – Eng. Ambiental – CREA RS237714

EQUIPE DE APOIO

Luis Carlos Brusa - Eng. Civil / Sanitarista - CPF 677.137.930-20

Nadia Fumaco Caldeira – Bióloga - CRBio 45775-03

Elda Julice Korpalski Morais Ramos - Geógrafa - CREA RS185303

Elis Gardênia dos Santos - Mobilizadora Social - CPF: 556.875.805-06

Magda Isabel Pinto Niederauer - Auxiliar Administrativa - OAB 109499

EQUIPE COMPLEMENTAR

Marina Refatti Fagundes – Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Bruno Henrique Abatti – Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Fernando Setembrino Meirelles – Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Laís Helena Mazzali – Eng^a. Ambiental

Larissa da Silva Soares – Eng^a Ambiental

Luana Gabriele Gomes Camelo – Graduanda em Eng. Ambiental

Luiz Alberto Pinto Gondim – Eng^o Agrônomo

Marcelle Gressler – Graduanda em Eng. Ambiental

Marcos Imério Leão – Geólogo



SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
2	Descrição geral das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul.....	16
2.1	Municípios de abrangência das bacias hidrográficas do Litoral Sul.....	17
2.2	Caracterização Física.....	18
2.3	Obras hidráulicas existentes.....	20
2.4	Rede de monitoramento hidrometeorológico.....	24
2.4.1	Estações pluviométricas.....	24
2.4.2	Estações fluviométricas.....	30
3	Diagnóstico das águas superficiais das BHLS.....	36
3.1	Modelagem hidrológica.....	36
3.2	Potencialidade e disponibilidade hídrica das bacias.....	45
3.2.1	Bacia hidrográfica do rio Gramame.....	46
3.2.2	Bacia hidrográfica do rio Abiaí.....	49
3.2.3	Sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.....	52
3.3	Ocorrência de eventos extremos.....	57
4	Qualidade das águas superficiais.....	60
4.1.1	Rede de monitoramento.....	60
4.1.2	Índice de Qualidade das Águas (IQA).....	65
4.1.3	Índice de Estado Trófico (IET).....	66
4.1.4	Classificação dos corpos d'água.....	69
5	Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico.....	84
6	Estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea.....	87
6.1	Qualidade das águas subterrâneas.....	89
7	Avaliação integrada das disponibilidades hídricas: superficial e subterrânea.....	94
8	Considerações finais.....	96

9	Anexos.....	97
9.1	Anexo I- Mapas de frequência de classes da qualidade da água nas BHLS.....	97
10	Referências Bibliográficas.....	104



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 - Áreas totais dos municípios que estão inseridos nas BHLS e percentagem das áreas dos municípios na bacia.	17
Tabela 2-2. Características fisiográficas das BHLS.	19
Tabela 2-3. Relação cota x área x volume do açude Gramame-Mamuaba.	21
Tabela 2-4. Dimensões do açude Gramame-Mamuaba.	22
Tabela 2-5. Área superficial e número de pequenos reservatórios por bacia hidrográfica.	23
Tabela 2-6. Estações pluviométricas identificadas na região das bacias hidrográficas do Litoral Sul.	25
Tabela 2-7. Estações fluviométricas instaladas na área das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul.	31
Tabela 2-8. Análise de consistência dos dados de cotas da estação Açude Gramame/Mamuaba (39084080).	33
Tabela 2-9. Análise de consistência dos dados de qualidade da água das estações instaladas nas Bacias Hidrográficas do Litoral Sul.	33
Tabela 2-10. Recomendações do número de estações por unidade de área (km ²), segundo a WMO e a ANA.	34
Tabela 3-1 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Gramame.	38
Tabela 3-2 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Abiaí.	39
Tabela 3-3 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico das pequenas Unidades de Planejamento Hidrológico.	40
Tabela 3-4. Métodos utilizados para representar as etapas do ciclo hidrológico.	40
Tabela 3-5. Evapotranspiração mensal considerada no modelo hidrológico.	43
Tabela 3-6. Coeficientes de retorno dos principais usos consuntivos da água.	46
Tabela 3-7. Disponibilidade de água superficial em cada sub-bacia da hidrográfica do rio Gramame.	46
Tabela 3-8. Potencialidades das sub-bacias do rio Gramame.	48
Tabela 3-9. Disponibilidade de água superficial em cada sub-bacia da hidrográfica do rio Abiaí.	49
Tabela 3-10. Potencialidades para as sub-bacias do rio Abiaí.	51
Tabela 3-11 – Disponibilidades hídricas das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.	52



Tabela 3-12. – Potencialidades hídricas das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.	56
Tabela 3-13. Eventos extremos registrados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D nos municípios integrantes das BHLS.	58
Tabela 4.1 - Pontos e parâmetros de monitoramento analisados pelas fontes de dados elencadas.....	60
Tabela 4.2 - Pontos de monitoramento de qualidade das águas das BHLS.....	62
Tabela 4.3 - Classe de estado trófico e suas características principais.....	67
Tabela 4.4 - Índice de Estado Trófico para os pontos de monitoramento da AESA, conforme ano e estação climática.	68
Tabela 4.5 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período CHUVOSO	71
Tabela 4.6 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período SECO	74
Tabela 4.7 - Classes das sub-bacias das BHLS	79
Tabela 4.8. Número total de fontes de poluição e cadastro de outorgas em cada sub-bacia....	81
Tabela 5-1. Curso de água e localização das estações fluviométricas propostas.	86
Tabela 6-1. Vazões de estabilização mínimas, médias e máximas nos poços das BHLS (SIAGAS/CPRM).....	88
Tabela 6-2. Níveis estáticos mínimos, médios e máximos dos poços das BHLS (SIAGAS/CPRM).....	89
Tabela 6-3. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Alhandra.	90
Tabela 6-4. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Caaporã.....	91
Tabela 6-5. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Conde.....	91
Tabela 6-6. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Pitimbu.	92
Tabela 7-1. Resumo da avaliação integrada da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea.....	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Localização das BHLS e apresentação de seus principais cursos de água.....	16
Figura 2-2. Áreas urbanizadas das BHLS definidas pelo IBGE.....	18
Figura 2-3. Hierarquização dos principais trechos de drenagem das BHLS.	20
Figura 2-4. Obras hidráulicas existentes na área das BHLS.	21
Figura 2-5. Localização dos pequenos reservatórios presentes nas BHLS.	23
Figura 2-6. Disponibilidade de dados de precipitação nas BHLS.	27
Figura 2-7. Estações pluviométricas instaladas próximas as BHLS.	28
Figura 2-8. Precipitação média mensal.....	29
Figura 2-9. Precipitação total anual para as BHLS.	30
Figura 2-10. Estações fluviométricas instaladas na área das BHLS.	32
Figura 2-11. Área de influência de cada estação pluviométrica nas BHLS.	35
Figura 3-1. Divisão da bacia hidrográfica do rio Gramame em sub-bacias para aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.....	38
Figura 3-2. Divisão da bacia hidrográfica do rio Abiaí em sub-bacias para aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.....	39
Figura 3-3. Sub-bacias do domínio da UPH do Abiaí consideradas no modelo hidrológico HEC-HMS.	40
Figura 3-4. Esquema do modelo hidrológico adotado por esse estudo.	42
Figura 3-5. Disponibilidade (Q_{90}) específica ($m^3/s.km^2$) das sub-bacias do rio Gramame.	47
Figura 3-6. Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Gramame.	48
Figura 3-7. Potencialidade específica média ($m^3/s.km^2$) para cada uma das sub-bacias do rio Gramame.	49
Figura 3-8. Disponibilidade (Q_{90}) específica ($m^3/s.km^2$) de cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.	50
Figura 3-9. Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Abiaí.	51
Figura 3-10. Potencialidade específica média ($m^3/s.km^2$) para cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.	52
Figura 3-11. Disponibilidade específica média ($m^3/s.km^2$) para cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.	53
Figura 3-12 - Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Guruji.	53



Figura 3-13 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Centro Norte. 54

Figura 3-14 - Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Grau.
..... 54

Figura 3-15 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Centro Sul..... 55

Figura 3-16 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Sul..... 55

Figura 3-17. Curva de permanência referente ao exutório da bacia do rio Pitimbu..... 56

Figura 3-18. Potencialidade específica média (m³/s.km²) para cada uma das sub-bacias do
domínio da UPH do rio Abiaí..... 57

Figura 4.1 - Pontos de monitoramento da qualidade da água nas BHLS. 64

Figura 4.2 - Usos das águas doces permitidos de acordo com a Resolução CONAMA n°
357/2005. 69

Figura 4.3 - Usos das águas salobras permitidos de acordo com a Resolução CONAMA n°
357/2005. 70

Figura 4.4. Qualidade da água das sub-bacias do Litoral Sul, cadastros de outorga da AESA-
PB e fontes de poluição. 82

Figura 5-1. Rede de monitoramento existente e proposta de instalação de novas estações
fluviométricas nas BHLS. 85

Figura 6-1. Unidades Geomorfológicas do Litoral Sul. 87

Figura 6-2. Vazão específica de águas subterrâneas (L/s.m) no Litoral Sul. 89

Figura 7-1. Classificação da disponibilidade das águas subterrâneas das BHLS..... 95



LISTA DE SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHLN	Bacias Hidrográficas do Litoral Norte
BHLS	Bacias Hidrográficas do Litoral Sul
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
HEC-HMS	<i>Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PERH-PB	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Si2D	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
UPH	Unidade de Planejamento Hídrico
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

APRESENTAÇÃO

A ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS LTDA (CNPJ: 02.563.448/0001-49) vem apresentar o RP3 – Estudo Hidrológico: Potencialidades e Disponibilidades Hídricas, em conformidade com o Termo de Contrato FERH nº 0011/2021, firmado entre a empresa, denominada CONTRATADA, e a SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE – SEIRHMA (CNPJ: 12.271.681/0001-01), através do seu órgão gestor, a AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA (CNPJ: 07.529.125/0001-52), doravante denominada AESA ou CONTRATANTE, cujo objeto é a “ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS LITORÂNEAS DA PARAÍBA”.

O presente documento contempla o Estudo Hidrológico das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (BHLS), apresentando a descrição geral das bacias e o diagnóstico das águas superficiais e subterrâneas, tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos. Além disso, o trabalho realizou a proposição de complementação da rede de monitoramento existente nas BHLS. Por fim, realizou uma avaliação integrada das disponibilidades hídricas.



1 Introdução

O presente estudo apresenta a metodologia aplicada e os resultados obtidos em conformidade com as atividades previstas no Termo de Referência no que diz respeito ao Estudo Hidrológico das bacias. Estas atividades compõem a Etapa 3 do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul (BHLS).

Os estudos integrantes dessa etapa foram realizados entre os meses de fevereiro e junho de 2022, conforme estabelecido pelo cronograma.

O presente relatório descreve primeiramente as características físicas das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul, apresentando, entre outras informações, a rede hidrográfica dessas bacias, os limites das sub-bacias e as principais obras hidráulicas existentes na região.

Na sequência (capítulo 3), é feita uma avaliação das potencialidades e disponibilidades hídricas superficiais das BHLS. Nessa etapa, são apresentados os dados de entrada que foram utilizados como base para a aplicação do modelo hidrológico a fim de determinar as vazões de referência dos principais cursos de água da bacia.

No capítulo 4 estão apresentadas as informações relativas à qualidade das águas das BHLS. Essas informações foram obtidas a partir dos postos de monitoramento que se encontram sob responsabilidade de diferentes órgãos, demonstrando dados pontuais referentes a diversos poluentes.

No capítulo 5, é apresentada uma proposição de complementação da rede hidrometeorológica existente nas BHLS, de modo a monitorar de forma mais adequada as variáveis ambientais como, por exemplo, chuva e vazão dos rios, visto que a obtenção de dados observados relativos a essas variáveis é de suma importância para realização das estimativas das potencialidades e disponibilidades hídricas.

O capítulo 6 apresenta as estimativas das disponibilidades hídricas subterrâneas, que foram baseadas em informações provenientes do SIAGAS, e faz uma breve análise da qualidade das águas subterrâneas.

Por fim, é realizada uma avaliação integrada das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, sendo que os resultados apresentados por esse relatório servirão de base para estimar o balanço hídrico entre a disponibilidade e as demandas de água na Etapa 4. Dessa forma, essas informações irão subsidiar na elaboração do prognóstico e no desenvolvimento do plano de ações para as BHLS.

2 Descrição geral das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul

A descrição geral das bacias hidrográficas analisadas é realizada nesse capítulo por meio da apresentação de sua localização, divisão hidrográfica interna para fins de diagnóstico (as denominadas Unidades de Planejamento Hídrico - UPHs), caracterização dos principais cursos de água, apresentação das obras hidráulicas existentes e dos municípios que compõem a área das BHLS.

A área de interesse, denominada Litoral Sul, é constituída por duas principais bacias hidrográficas, a bacia hidrográfica do rio Gramame e a bacia do rio Abiaí (**Figura 2-1**). As duas bacias totalizam uma área de contribuição de 1.038 km². Além disso, a área de interesse compreende mais 6 sub-bacias de domínio da UPH do rio Abiaí, totalizando uma área de aproximadamente 140 km².

Essas bacias são limitadas ao norte pela bacia hidrográfica do rio Paraíba, à leste pelo Oceano Atlântico, ao sul pela bacia do rio Goiana, situada no estado de Pernambuco e à oeste parcialmente pela bacia do rio Paraíba e pela bacia do rio Goiana.

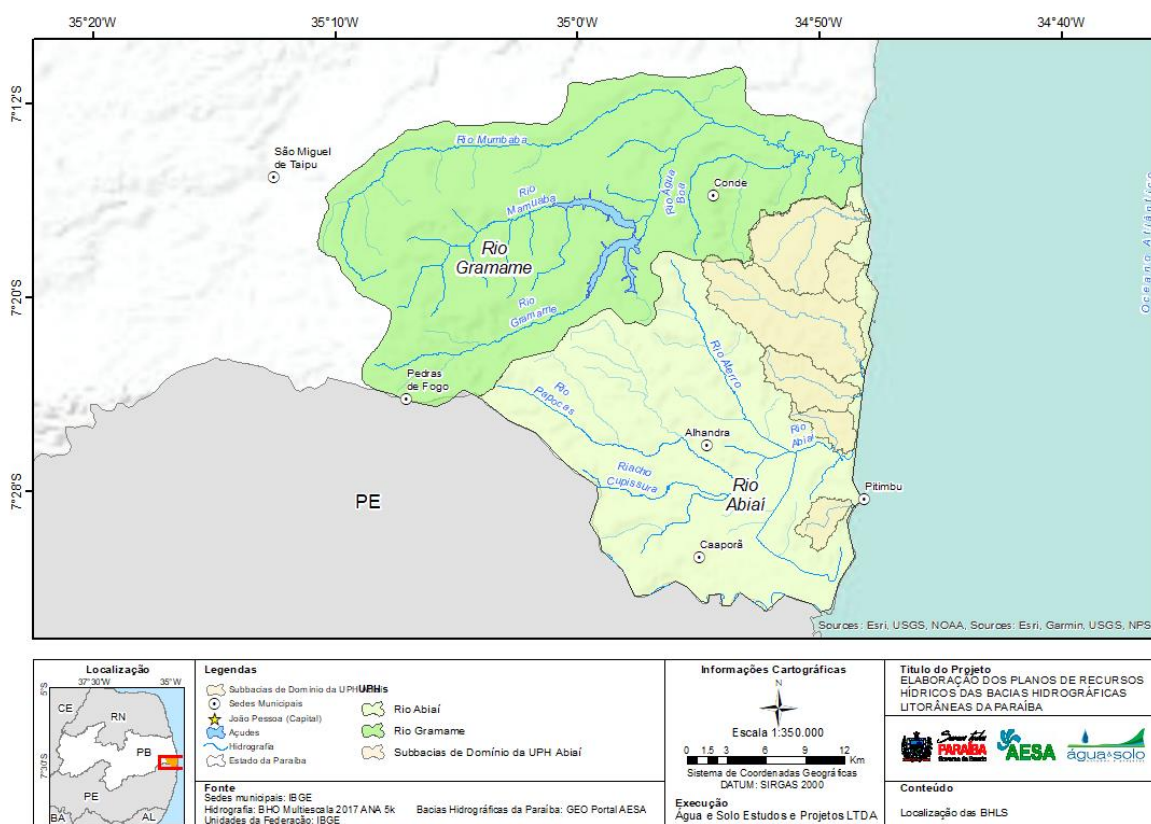


Figura 2-1 - Localização das BHLS e apresentação de seus principais cursos de água.
Fonte: Acervo próprio, 2022



2.1 Municípios de abrangência das bacias hidrográficas do Litoral Sul

As BHLS englobam, total ou parcialmente, nove municípios. Os dados referentes aos limites municipais estão disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a partir do portal de *downloads* (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). Desta forma, com a sobreposição dos limites das bacias hidrográficas com os limites municipais, foi possível visualizar as parcelas dos municípios que compõem cada uma das bacias (**Tabela 2-1**). Dos nove municípios que fazem parte das BHLS, somente quatro deles possuem a sede municipal inserida na área das bacias e apenas os municípios de Alhandra e Conde que estão completamente inseridos dentro das áreas das bacias. De todos os municípios, São Miguel de Taipu é o que possui menor área nas BHLS, com apenas 0,4% do total de sua área inserida nas bacias.

Tabela 2-1 - Áreas totais dos municípios que estão inseridos nas BHLS e percentagem das áreas dos municípios na bacia.

Município	Área total do município (km ²)	Gramame	Abiaí	Localização da Sede Municipal
Alhandra	182,72	35,3%	64,7%	Abiaí
Caaporã	150,21	-	99,7%	Abiaí
Conde	172,79	51,8%	48,2%	Gramame
Cruz do Espírito Santo	191,21	5,1%	-	Fora das BHLS
João Pessoa	211,34	25,9%	-	Fora das BHLS
Pedras de Fogo	405,09	65,7%	23,3%	Gramame
Pitimbu	137,27	-	99,4%	Abiaí
Santa Rita	728,41	14,2%	-	Fora das BHLS
São Miguel de Taipu	92,59	0,4%	-	Fora das BHLS

Fonte: IBGE

A determinação das áreas urbanas dos municípios dentro de cada uma das bacias foi realizada a partir de informações do IBGE e são referentes ao ano de 2015. Na **Figura 2-2** estão apresentados os resultados do Projeto Áreas Urbanizadas (IBGE, 2015).

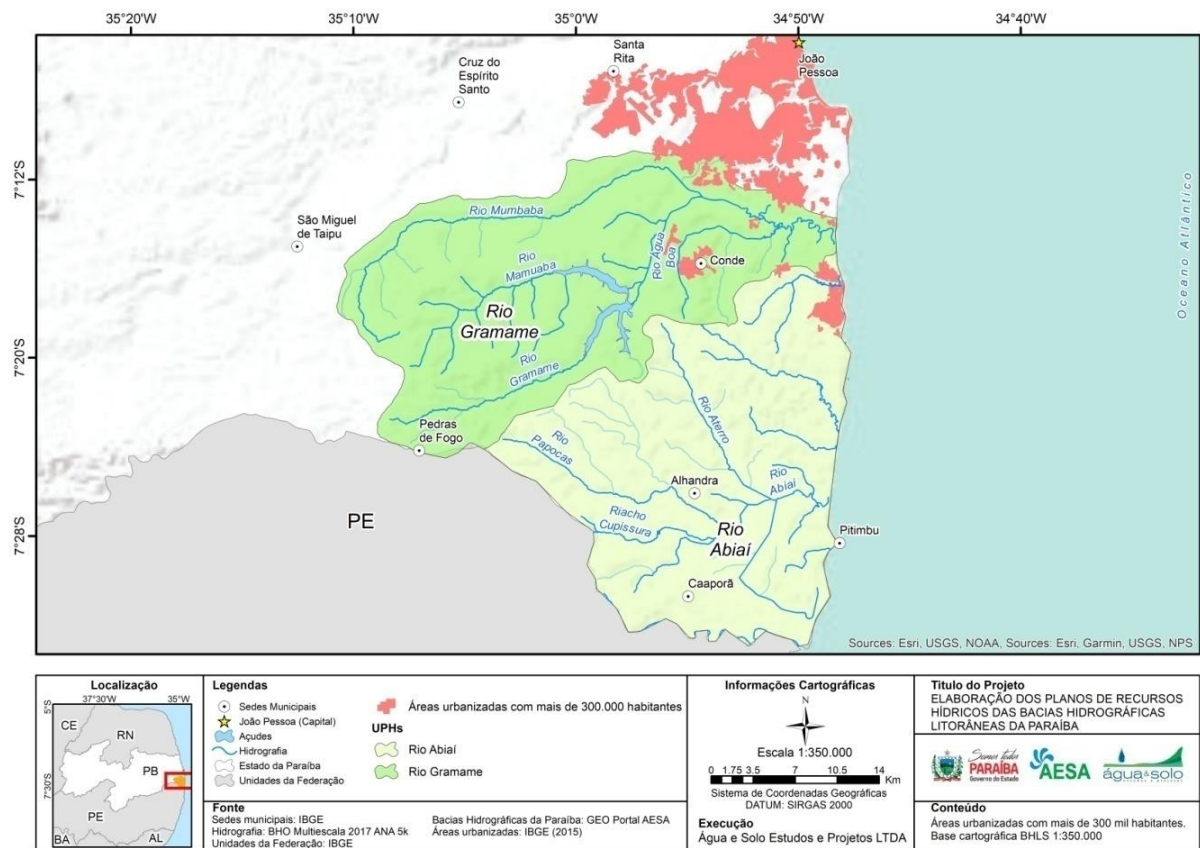


Figura 2-2. Áreas urbanizadas das BHLs definidas pelo IBGE.
Fonte: Acervo próprio, 2022

2.2 Caracterização Física

A bacia do rio Gramame possui uma área de contribuição de 589,6 km², o curso d'água principal possui extensão de 58,2 km e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa. No contexto da região do Litoral Sul, esta bacia é a principal responsável por abastecer a Região Metropolitana de João Pessoa, a qual já apresenta inúmeros conflitos em relação ao uso d'água.

A bacia do rio Abiaí possui uma área de contribuição de 675,1 km², o curso d'água principal possui extensão de 44,3 km e seus principais afluentes são os rios Aterro, Camocim, Galo, Popocas e Pitanga. Esta bacia possui grande importância, tendo em vista que é utilizada como fonte complementar para o abastecimento da região metropolitana de João Pessoa, conforme apresentado no Termo de Referência do presente contrato.

O estudo das características físicas de uma bacia hidrográfica é de grande relevância para o conhecimento de seu comportamento hidrológico, especialmente no que se refere às estimativas da quantidade de água produzida e a resposta da bacia hidrográfica em relação ao processo de transformação da chuva em vazão.

Nesse sentido, para realizar a análise das características físicas das BHLS foi utilizada a hidrografia da Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental fornecida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa base de dados foi elaborada considerando uma escala de 1:100.000, sendo publicada no ano de 2013. As características topográficas foram extraídas do modelo digital de terreno ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros.

A **Tabela 2-2** apresenta um resumo das características fisiográficas das bacias hidrográficas da região do Litoral Sul.

Tabela 2-2. Características fisiográficas das BHLS.

Índice	Bacia Hidrográfica	
	Gramame	Abiaí
Bacia	Gramame	Abiaí
Área (km ²)	589,6	675,1
Perímetro (km)	122,8	140,5
Comprimento axial bacia (km)	58,2	44,3
Altitude máxima (m)	219,0	192,0
Altitude média (m)	82,8	57,0
Declividade máxima (%)	124,1	168,2
Declividade média (%)	7,9	9,2
Ordem do canal principal (Strahler)	3,0	4,0
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,4	1,5
Fator de Forma (Kf)	0,2	0,3
Índice de Circularidade	0,5	0,4
Densidade de Drenagem (km/km ²)	0,4	0,4

Fonte: Elaborado a partir de geoprocessamento. Acervo próprio, 2022

Dessa forma, uma análise dos resultados relativos aos índices morfométricos expostos pela **Tabela 2-2** possibilita uma avaliação prévia das potencialidades e suscetibilidades da bacia hidrográfica, além de propiciar uma comparação física entre as áreas de interesse. De maneira geral, as bacias dos rios Gramame e Abiaí se demonstraram semelhantes em relação as características fisiográficas estimadas. As duas bacias apresentaram-se com baixa a mediana tendência a inundações ($Kc > 1,5$ e $Kf < 0,5$) e foram caracterizadas como regiões com rede de drenagem pobre (Densidade de drenagem $< 0,5$ km/km²).

A **Figura 2-3** demonstra as características gerais das áreas de interesse e a hierarquização fluvial conforme a metodologia proposta por Strahler (1964), que estabelece que canais sem tributários são classificados como de primeira ordem; canais que se originam devido a confluência de dois canais de primeira ordem são classificados como segunda ordem; canais de

terceira ordem se originam da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente.

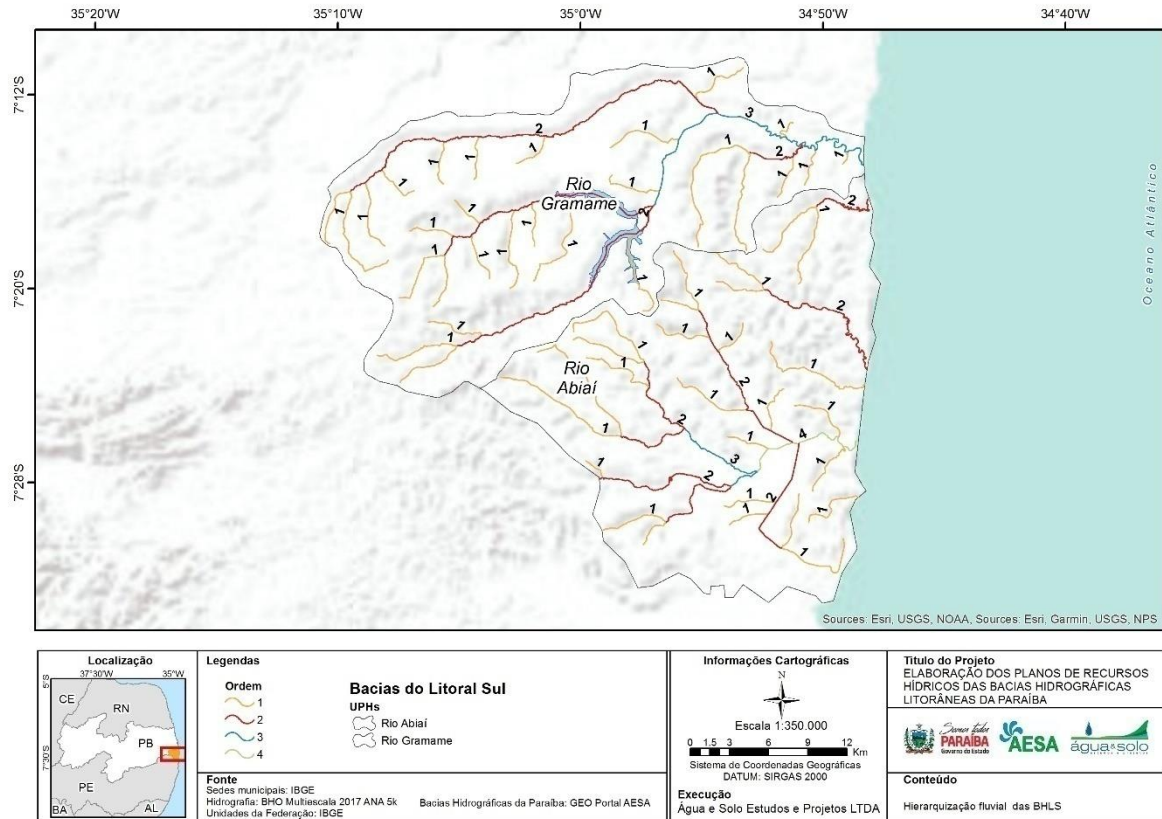


Figura 2-3. Hierarquização dos principais trechos de drenagem das BHLS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

A partir da metodologia proposta por Strahler, os rios principais foram definidos como de 3ª ordem para a bacia do rio Gramame e 4ª ordem para a bacia do rio Abiaí.

2.3 Obras hidráulicas existentes

O levantamento das obras hidráulicas inseridas nas BHLS foi feito a partir de informações da AESA-PB, do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Ao realizar as pesquisas e de acordo com a Atualização do PERH-PB, foi identificado somente um açude de maior importância na área das BHLS. Esse é o açude Gramame-Mamuaba que fica localizado no município de Conde (**Figura 2-4**), nas coordenadas 7,291° S e 34,959° W. Seu volume de armazenamento máximo é de aproximadamente 56.937.000 m³, sendo considerado como o único reservatório estratégico nas BHLS, por possuir capacidade de armazenamento superior a 10 hm³. Esse açude garante uma vazão regularizada de aproximadamente 2.646,39 L/s associada à garantia de 90%, de acordo com informações do

Plano Estadual de Recursos Hídricos referente ao ano de 2017 (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2020). Importante salientar que o PERH-PB define como reservatório estratégico aqueles com capacidade de armazenamento superior a 10 hm³ ou então aqueles que possuem ponto de captação para abastecimento público da CAGEPA. Além disso, foi informado pelo GET que existem outros pequenos açudes particulares na região, apesar destes não constarem nos bancos de dados consultados.

Na **Tabela 2-3** está apresentada a relação cota x área x volume do açude Gramame-Mamuaba, enquanto na **Tabela 2-4** são apresentadas as cotas e dimensões do reservatório.

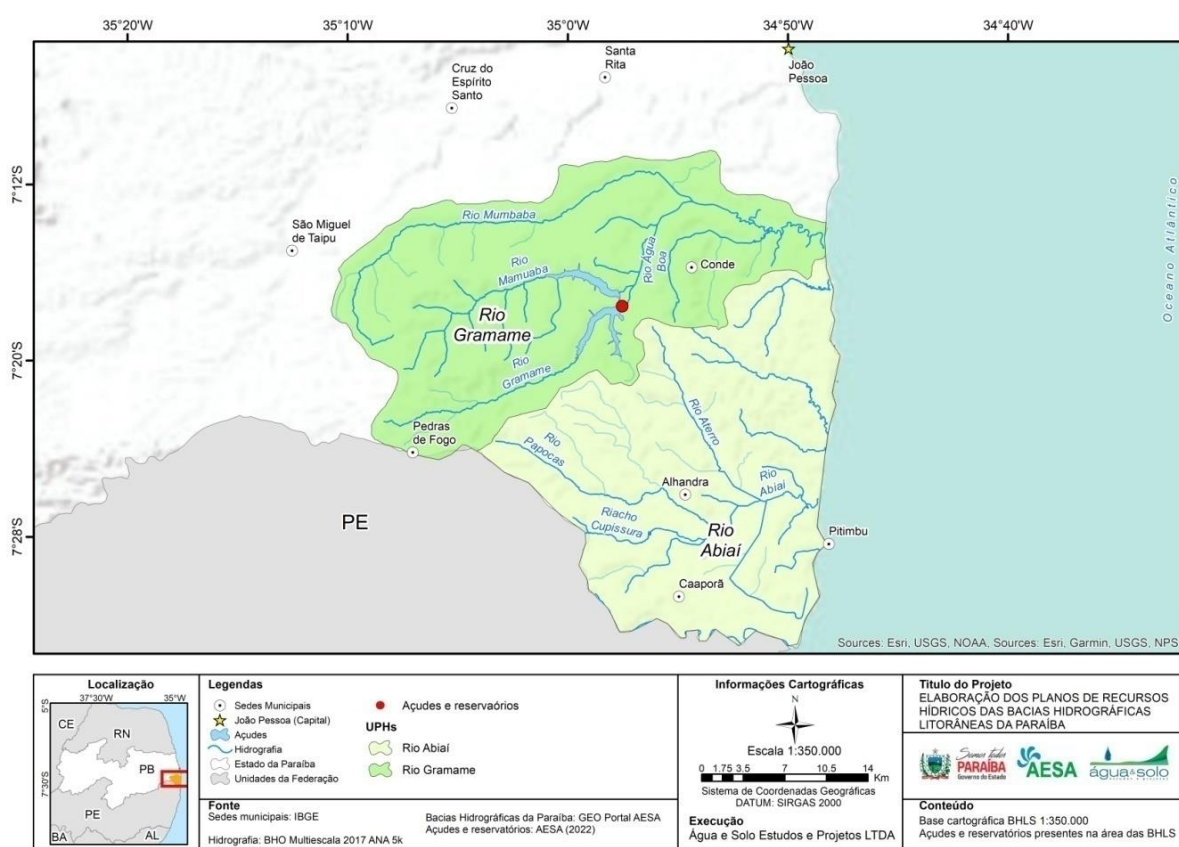


Figura 2-4. Obras hidráulicas existentes na área das BHLs.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 2-3. Relação cota x área x volume do açude Gramame-Mamuaba.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
17	0	0
18	104.049,0	20.000
19	208.098,0	85.000
20	437.859,0	299.000
21	667.620,0	722.000
22	914.124,5	1.442.000
23	1.160.629,0	2.537.000
24	1.657.749,0	4.048.000

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
25	2.154.869,0	6.122.000
26	2.650.610,5	8.945.000
27	3.146.352,0	11.964.000
28	3.717.510,0	15.454.000
29	4.288.668,0	19.721.000
30	4.931.510,5	23.305.000
31	5.574.353,0	28.646.000
32	6.285.896,0	34.651.000
33	6.997.439,0	41.238.000
34	7.775.214,5	48.492.000
35	8.552.990,0	56.937.000
36	9.271.156,2	65.885.000
37	10.015.815,5	75.764.000

Fonte: AESA

Tabela 2-4. Dimensões do açude Gramame-Mamuaba.

Características da Barragem	
Volume Máximo (m ³)	56.937.000
Comprimento (m)	1605
Largura (m)	50
Cota da soleira (m)	35
Cota mínima (m)	17
Cota do porão (m)	17

Mais detalhes sobre as obras hidráulicas de grande porte existentes estão apresentados no item “6. *Infraestrutura hídrica*” do “*RP4 – Diagnóstico das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul*”.

Além disso, é importante destacar que em razão da necessidade de garantir um fornecimento de água ao longo de todo o ano, uma solução historicamente adotada na região foi a construção de reservatórios artificiais, estruturas capazes de armazenar água no período chuvoso e transpor essa disponibilidade para os períodos mais secos. Essas estruturas essencialmente privadas ou comunitárias e geralmente de pequeno porte estão distribuídas ao longo de todas as BHLS. Reservatórios de pequeno porte podem ser definidos como aqueles que servem para assegurar o abastecimento durante a estação seca em um ano hidrológico, sendo pouco útil contra secas prolongadas, tendo assim um caráter intra-anual.

A fim de determinar a área de influência e a distribuição espacial dos pequenos reservatórios distribuídos na área de interesse, utilizou-se uma classificação não-supervisionada das massas d’água na região. O produto utilizado é denominado Dynamic World V1, desenvolvido por Brown et al. (2022). O produto apresenta uma classificação do uso do solo baseada em um conjunto de imagens do satélite Sentinel-2, o qual apresenta uma resolução espacial de 10

metros. A partir dessa classificação foram estabelecidas as localizações e a área de cobertura dessas massas d'água. Em termos gerais, os reservatórios de pequeno porte apresentam uma área de cobertura de aproximadamente 10,69 km², representando 1,03% da área total das BHLS. A **Figura 2-5** exibe a localização da rede de pequenos reservatórios presentes nas BHLS e a **Tabela 2-5** a área superficial e o número de pequenos reservatórios identificados em cada bacia hidrográfica do Litoral Sul.

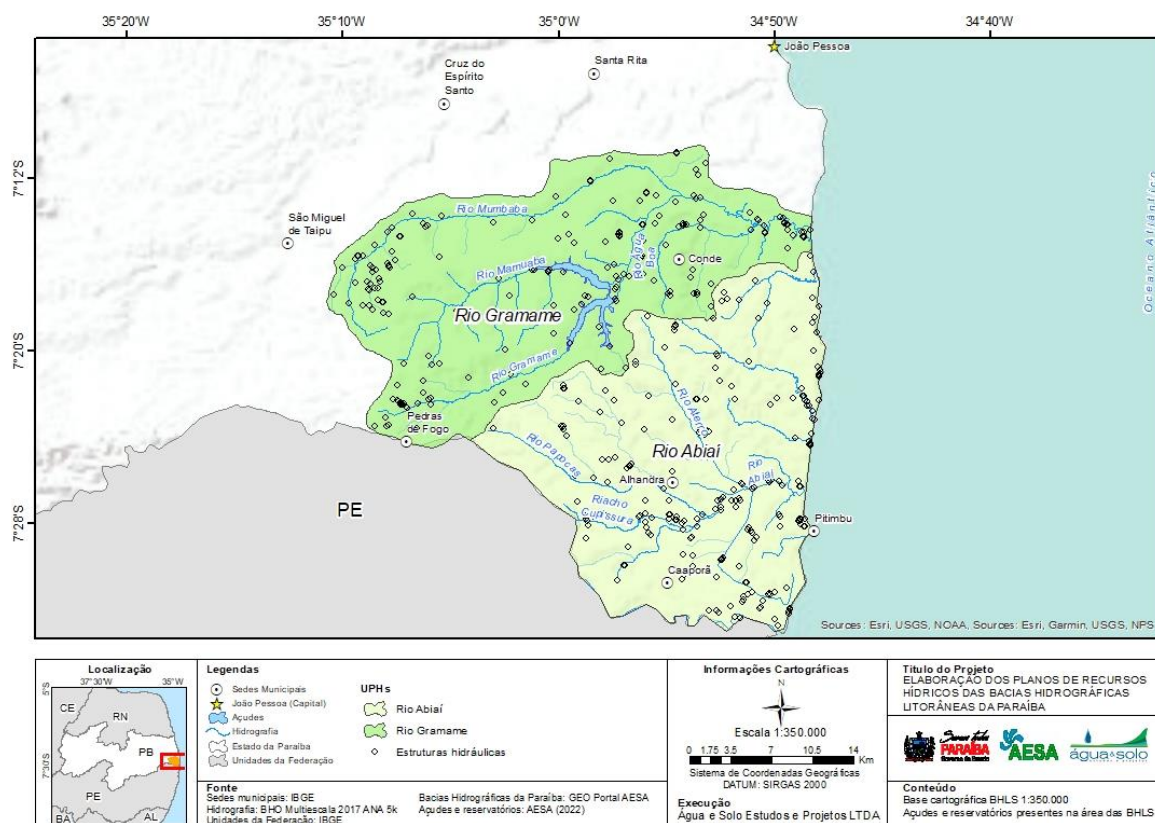


Figura 2-5. Localização dos pequenos reservatórios presentes nas BHLS.

Tabela 2-5. Área superficial e número de pequenos reservatórios por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica do Rio Gramame		
Área superficial (km ²)	Área total de cobertura dos reservatórios (km ²)	Nº de reservatórios
0,00 - 0,01	0,4	177
0,01 - 0,10	0,5	23
0,10 - 7,56	8,07	4
Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí		
Área superficial (km ²)	Área total de cobertura dos reservatórios (km ²)	Nº de reservatórios
0,00 - 0,01	0,35	214
0,01 - 0,10	0,72	26
0,10 - 0,22	0,65	4
Total geral	10,69	448

Embora se tenha a consciência da numerosa presença de pequenos reservatórios nas regiões de estudo, é um grande desafio para os órgãos responsáveis gerir esses sistemas de recursos hídricos locais. Dentre os fatores que levaram a este cenário, pode-se destacar a pequena capacidade de armazenamento e a existência de uma grande quantidade e ampla distribuição no território, o que dificulta o monitoramento e, conseqüentemente, a sua gestão. Além disso, não há uma regra de operação conhecida e as estruturas hidráulicas podem ser rudimentares ou inexistentes. Assim, a compreensão da influência destes reservatórios na disponibilidade hídrica da bacia não é possível a partir de modelos hidrológicos que trabalhem na escala de um Plano de Recursos Hídricos, podendo ser proposto um levantamento mais detalhado para UPHs mais críticas ou com maior demanda, desde que levantadas as informações necessárias em campo.

2.4 Rede de monitoramento hidrometeorológico

Os dados referentes a rede de monitoramento hidrometeorológico existente nas Bacias Hidrográficas do Litoral Sul foram obtidos a partir do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>). Com essas informações, fez-se uma breve descrição das estações pluviométricas e fluviométricas identificadas, bem como a análise de consistência das séries históricas dessas estações. Destaca-se que as séries de dados apresentadas foram disponibilizadas no Hidroweb concomitantemente com a elaboração do plano de bacia.

2.4.1 Estações pluviométricas

As estações pluviométricas identificadas nas Bacias Hidrográficas do Litoral Sul estão apresentadas na **Tabela 2-6**. Foram consideradas não só as estações inseridas na área das bacias, mas também as estações pluviométricas situadas próximas à região em análise, permitindo, dessa forma, a visualização da variabilidade espacial da precipitação. Ao todo 39 estações foram identificadas, sendo que 24 estão inseridas na área das BHLS e 15 encontram-se em seu entorno. Das 24 estações que estão nas BHLS, cinco situam-se na área da bacia hidrográfica do rio Abiaí e as outras 19 estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Gramame.

É válido ressaltar que das 39 estações pluviométricas, apenas 20 delas possuem dados. Além disso, somente quatro estações possuem dados de longo prazo (mais de 30 anos). A maior parte das estações possui séries históricas compreendidas entre os anos de 1996 a 2018.



A **Tabela 2-6** apresenta as estações pluviométricas identificadas, o órgão responsável e o período com dados e a **Figura 2-6** ilustra a disponibilidade de dados na BHLS. Na **Figura 2-7** está apresentada a localização de cada uma das estações.

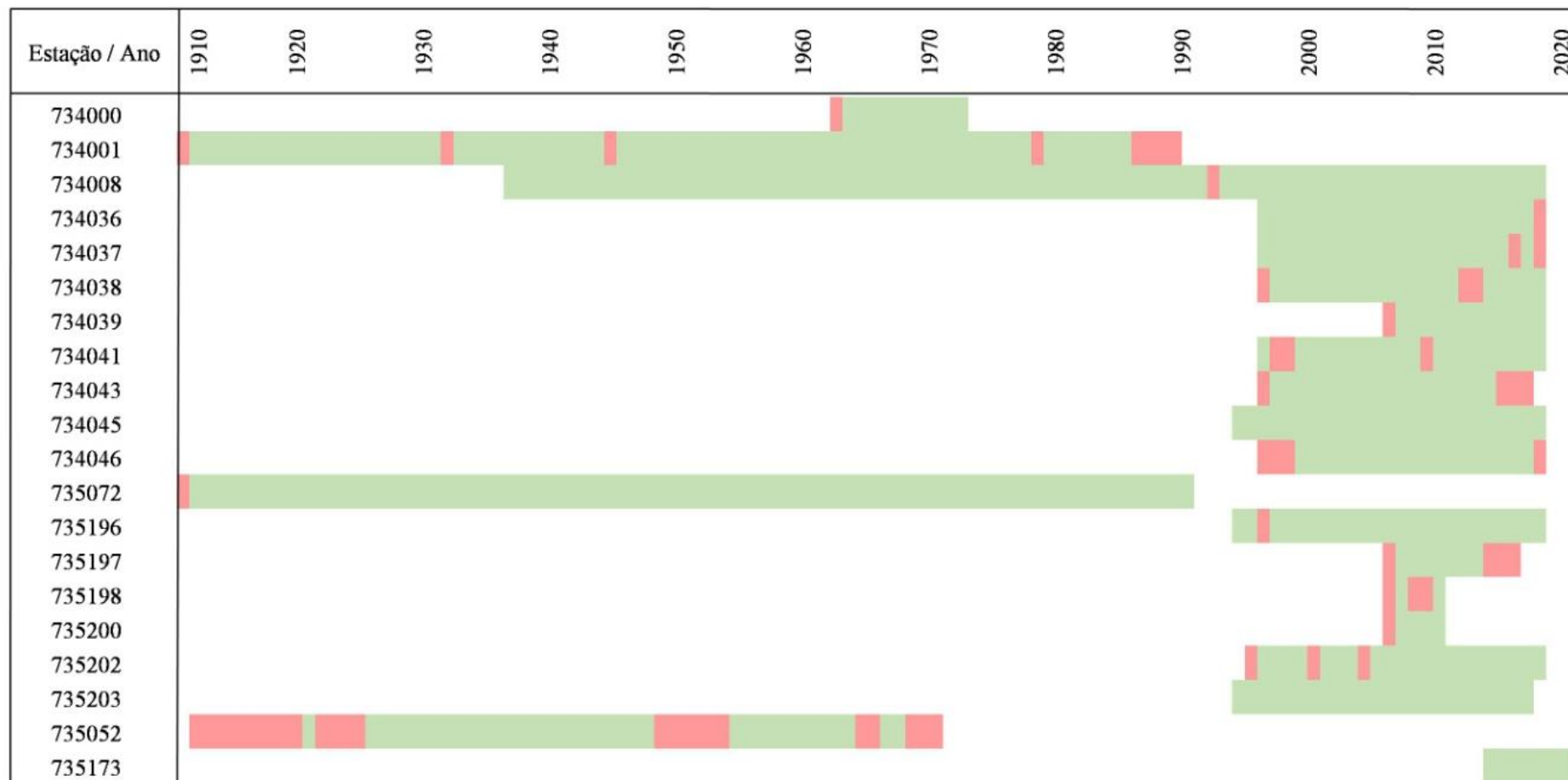
Tabela 2-6. Estações pluviométricas identificadas na região das bacias hidrográficas do Litoral Sul.

Código	Responsável	Nome	Latitude	Longitude	Período com dados
734000	AESA-PB	Conde	-7,253	-34,921	1962 a 1972
734001	AESA-PB	Santa Rita	-7,140	-34,982	1910 a 1989
734008	AESA-PB	Alhandra	-7,425	-34,910	1936 a 2018
734025	CAGEPA	Maracanã	-7,250	-34,983	-
734026	CAGEPA	Fazenda Mumbaba (06)	-7,200	-34,983	-
734027	CAGEPA	Várzea Cercada (14)	-7,333	-34,983	-
734028	CAGEPA	Fazenda Santo Antônio (16)	-7,283	-34,950	-
734029	CAGEPA	Fazenda Veneza (17)	-7,166	-34,900	-
734036	AESA-PB	Bayeux	-7,133	-34,938	1996 a 2018
734037	AESA-PB	João Pessoa/Mares	-7,155	-34,908	1996 a 2018
734038	AESA-PB	João Pessoa/Mangabeira	-7,197	-34,813	1996 a 2018
734039	AESA-PB	João Pessoa/Cedres	-7,217	-34,949	2006 a 2018
734040	AESA-PB	Conde/Açude Gramame Mamuaba	-7,253	-34,929	-
734041	AESA-PB	Pitimbu	-7,454	-34,836	1996 a 2018
734043	AESA-PB	Caaporã	-7,515	-34,917	1996 a 2017
734045	CEMADEN	Bayeux - Alto Da Boa Vista	-7,133	-34,940	1994 a 2018
734046	CEMADEN	Bayeux - Jardim Planalto	-7,148	-34,923	1996 a 2018
734047	CEMADEN	Caaporã Centro	-7,516	-34,916	-
734050	CEMADEN	João Pessoa - Bairro Do Cristo	-7,166	-34,881	-
734051	CEMADEN	João Pessoa - Cuiá	-7,183	-34,858	-
734052	CEMADEN	João Pessoa - Grotão	-7,185	-34,880	-
734057	CEMADEN	Pitimbu - Centro	-7,478	-34,813	-
735052	INMET	Goiana	-7,566	-35,000	1911 a 1970
735072	DNOCS	Itambé	-7,416	-35,116	1910 a 1990
735127	CAGEPA	Jangada (03)	-7,333	-35,083	-
735129	CAGEPA	Fazenda Princesa (07)	-7,216	-35,100	-
735131	CAGEPA	Engenho Fazendinha (09)	-7,300	-35,150	-
735132	CAGEPA	Fazenda Mamoaba De Cima (10)	-7,283	-35,083	-
735133	CAGEPA	Fazenda Santa Emília (11)	-7,366	-35,116	-
735134	CAGEPA	Fazenda Bulhões (12)	-7,366	-35,050	-
735135	CAGEPA	Riacho Do Salto (13)	-7,266	-35,033	-
735136	CAGEPA	Imbiribeira (15)	-7,266	-35,050	-
735173	ANA	Caricé	-7,542	-35,068	2014 a 2021
735196	AESA-PB	São Miguel De Taipu	-7,250	-35,208	1994 a 2018



Código	Responsável	Nome	Latitude	Longitude	Período com dados
735197	AESA-PB	Santa Rita/Indaiá	-7,224	-35,031	2006 a 2016
735198	AESA-PB	Pedras De Fogo/Engenho Novo I	-7,285	-35,153	2006 a 2010
735200	AESA-PB	Pedras De Fogo/Fazenda Buraco Fundo	-7,322	-35,057	2006 a 2010
735202	AESA-PB	Juripiranga	-7,371	-35,240	1995 a 2018
735203	AESA-PB	Pedras De Fogo	-7,401	-35,117	1994 a 2018

Fonte: Hidroweb



% Dados durante o ano ■ < 70% ■ > 70%

Figura 2-6. Disponibilidade de dados de precipitação nas BHLS.

Fonte: Acervo próprio, 2022

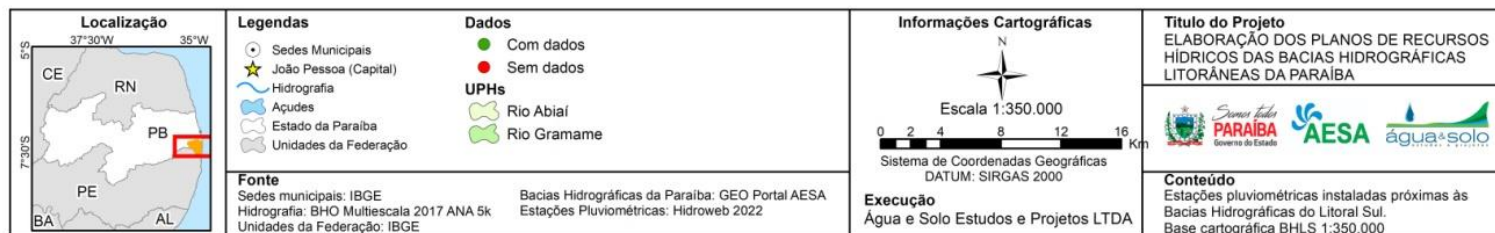
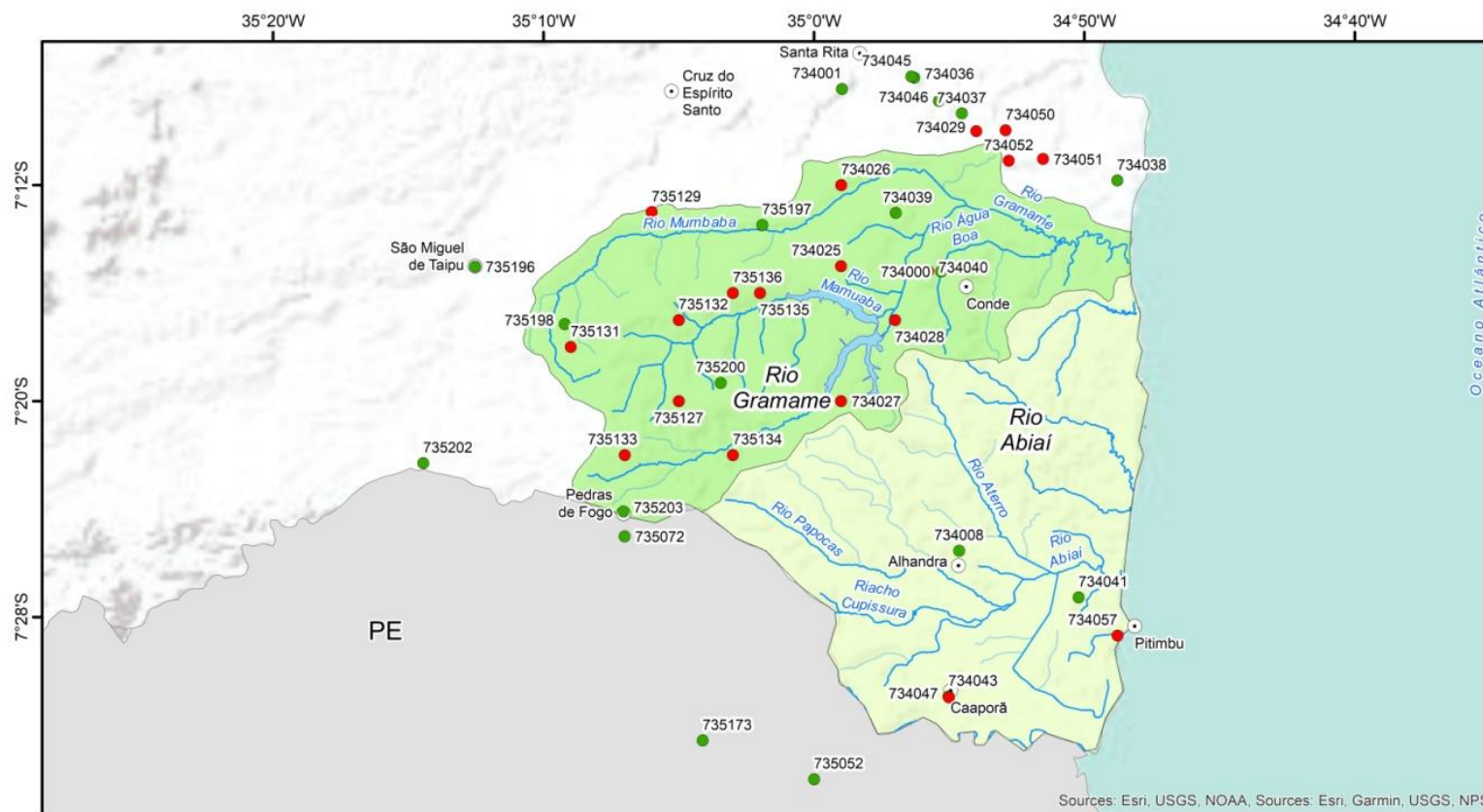


Figura 2-7. Estações pluviométricas instaladas próximas as BHLS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

A fim de avaliar o regime pluviométrico da região, foram analisadas as precipitações médias mensais e totais anuais no período compreendido entre 1995 e 2018. Este período foi utilizado devido a maior consistência dos dados disponíveis e apenas as estações que possuíam mais de 70% dos dados foram consideradas. Dessa maneira, observa-se que os meses de abril a julho caracterizam o período com maior volume de chuva, enquanto o período de setembro a dezembro a estação mais seca. O mês com maior volume de chuva médio é o mês de junho com 223,46 mm e o mês mais seco é o mês de novembro com volume médio de 16,20 mm. Analisando os dados em escala anual, destaca-se os anos 2000 e 2011 como os maiores registros de chuva, com respectivos volumes totais anuais de 1859,87 mm e 1871,94. Quanto ao período de menor volume de chuva registrado, destaca-se os anos de 1998, 1999 e 2018 que apresentaram totais anuais de 772,53 mm, 751,97 mm e 770,63 mm, respectivamente. Por fim, a média total anual de precipitação para região observada neste período foi de 1202,23 mm. A **Figura 2-8** e a **Figura 2-9** exibem os valores de precipitação médios mensais e valores de precipitação anual total média.

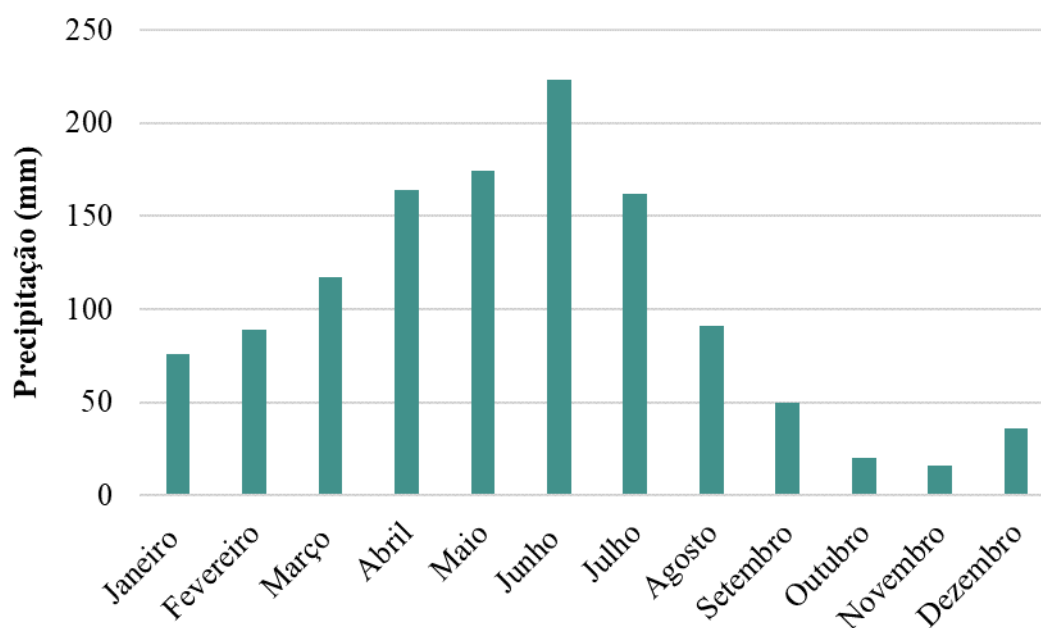


Figura 2-8. Precipitação média mensal.

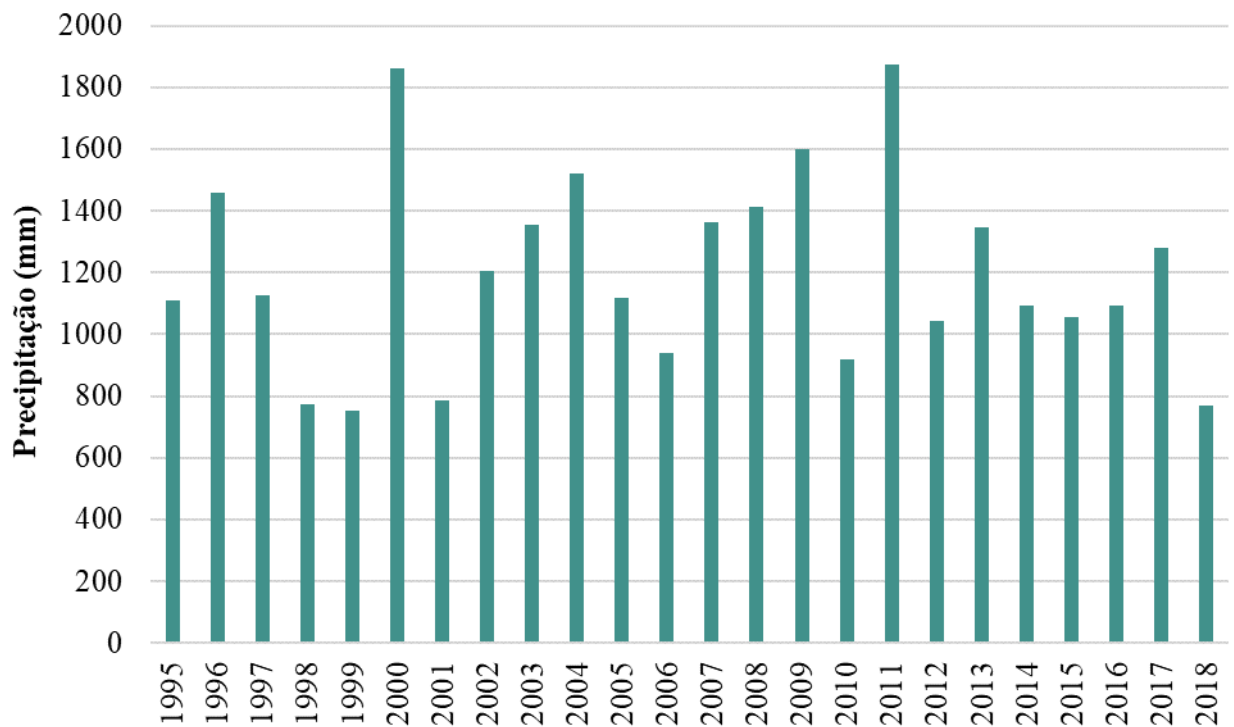


Figura 2-9. Precipitação total anual para as BHLS.

2.4.2 Estações fluviométricas

A partir do portal HidroWeb, foram identificadas nove estações fluviométricas instaladas nas bacias do Litoral Sul, sendo três na bacia do rio Abiaí e seis na bacia do rio Gramame. A **Tabela 2-7** apresenta informações das estações fluviométricas identificadas e na **Figura 2-10** está apresentada sua localização, bem como os parâmetros monitorados por cada uma delas.

A análise das séries históricas das estações contempladas no HidroWeb demonstrou que três delas não possuem dados registrados. Das estações com dados, uma delas possui dados relativos às cotas do rio e medições de qualidade da água e as outras cinco possuem apenas dados relativos à qualidade da água.

Entretanto, comenta-se que há duas estações com séries históricas de vazão, não contempladas pelo HidroWeb, estando instaladas no rio Mumbaba (3800001) e no rio Mamuaba (38000002). A estação 38000001 possui dados relativos ao período de janeiro de 1980 a dezembro de 1984, havendo uma falha no mês de julho de 1982. Já a estação 38000002 possui dados para o período de janeiro de 1972 a junho de 1988, mas destaca-se que há uma grande lacuna nos dados entre os anos de 1975 e 1985.

Tabela 2-7. Estações fluviométricas instaladas na área das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul.

Código	Nome da estação	Período com dados	Parâmetro	Bacia	Latitude	Longitude	Curso de água	Responsável
39081150	Pitimbu	2018 – 2021	Qualidade da água	Abiaí	-7,488	-34,817	Riacho Pitimbu	AESA-PB
39035000	Caaporã	2017 - 2021	Qualidade da água	Abiaí	-7,535	-34,889	Rio Goiana	AESA-PB
39081120	Pitimbu	2018 - 2021	Qualidade da água	Abiaí	-7,438	-34,848	Rio Abiaí	AESA-PB
39081090	Açude Gramame/ Mamuaba jusante	-	Sem dados	Gramame	-7,274	-34,948	Rio Gramame	ANA
39084080	Açude Gramame/ Mamuaba	Qualidade da água	Cotas e qualidade da água	Gramame	-7,290	-34,958	Rio Gramame	AESA-PB
39081072	Pedras de Fogo	2018 - 2021	Qualidade da água	Gramame	-7,333	-34,995	Rio Gramame	AESA-PB
39081070	Açude Gramame/ Gramame montante	-	Sem dados	Gramame	-7,334	-34,996	Rio Gramame	ANA
39081075	Açude Gramame/ Mamuaba montante	-	Sem dados	Gramame	-7,273	-35,032	Rio Gramame	ANA
39081080	Santa Rita	2018 - 2021	Qualidade da água	Gramame	-7,279	-35,043	Rio Mamuaba	AESA-PB

Fonte: Hidroweb

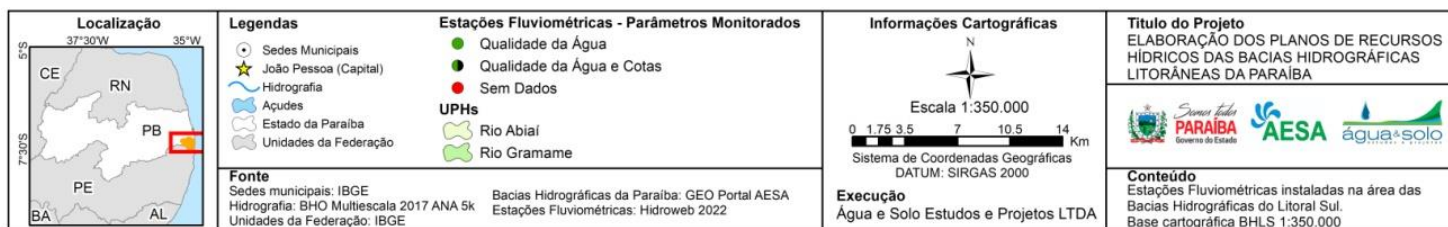
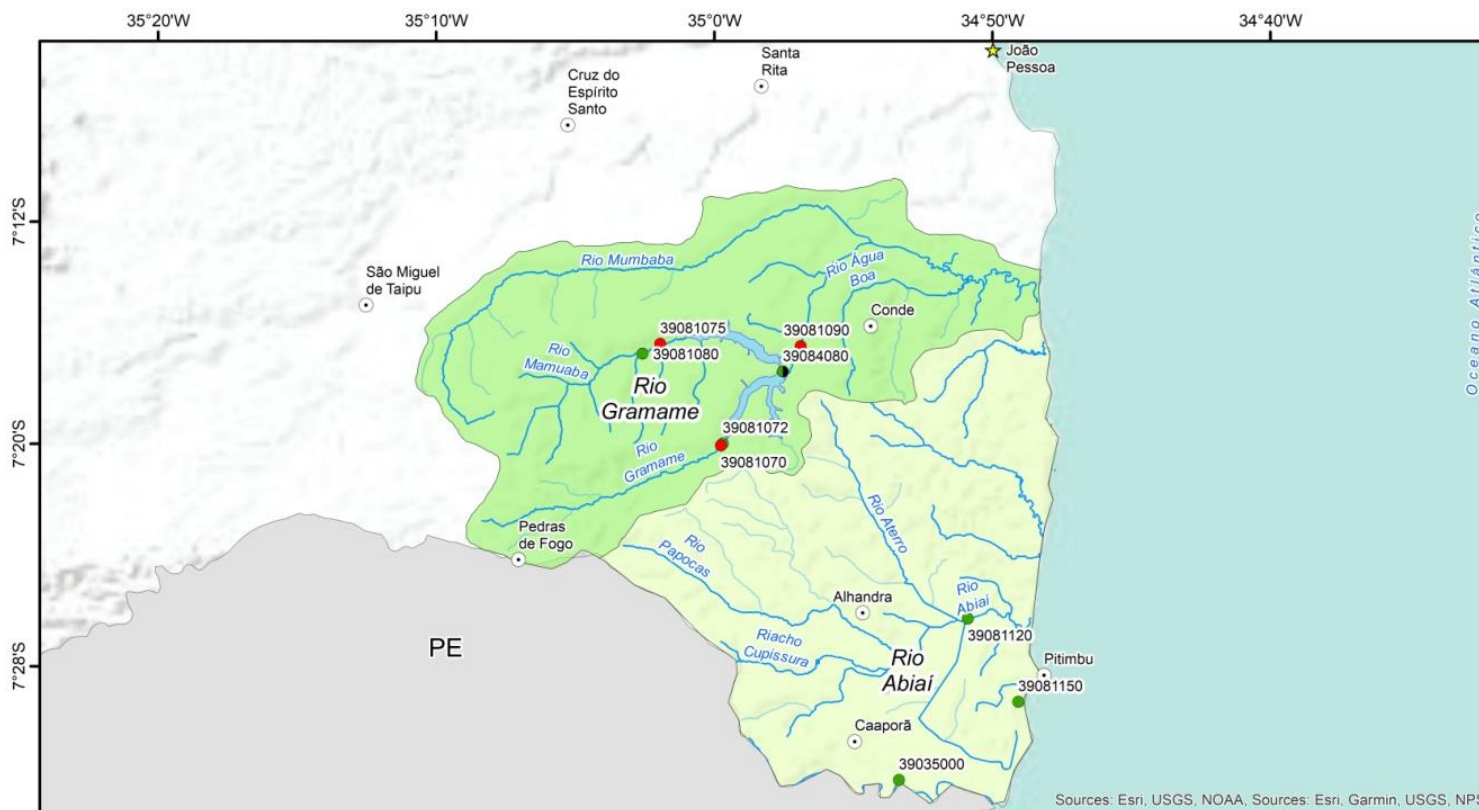


Figura 2-10. Estações fluviométricas instaladas na área das BHLS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.2.1 Análise de consistência de dados de cotas

A **Tabela 2-8** apresenta a análise dos dados da estação fluviométrica Açude Gramame/Mamuaba (39084080), situada nas coordenadas 7,290° S e 34,958° S, sendo a única estação que possui dados de cotas. O início das medições dessa estação foi em março de 2018 e, por esse motivo, esse ano possui um menor número de registros do que os anos subsequentes. Destaca-se que após o início das medições, quase não houve falhas nos registros de cotas por essa estação.

Tabela 2-8. Análise de consistência dos dados de cotas da estação Açude Gramame/Mamuaba (39084080).

Legenda	N° dias com dados	
		0
		182
	365	

Estação / Ano	2018	2019	2020	2021
39084080	299	364	365	353

Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.2.2 Análise de consistência de dados de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade de água analisados por todas as estações são: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão, sólidos totais dissolvidos, cloretos, nitrogênio amoniacal, nitratos, clorofila, alcalinidade total, ortofosfato total, fósforo total, Escherichia, condutividade específica e fitoplâncton quantitativo.

Na **Tabela 2-9** estão apresentados os parâmetros de qualidade da água analisados por cada uma das estações fluviométricas, bem como o número total de análises realizadas. Destaca-se que as análises de sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais e Escherichia foram realizadas somente nas duas últimas coletas.

Tabela 2-9. Análise de consistência dos dados de qualidade da água das estações instaladas nas Bacias Hidrográficas do Litoral Sul.

Estação / Parâmetro	Latitude	Longitude	Total de medições	pH	Turbidez	OD	Sólidos suspensão total	Sólidos dissolvidos totais	Cloretos	Nitrogênio Amoniacal	Nitratos	Clorofila	Alcalinidade total	Ortofosfato	Fósforo total	Escherichia	Condutividade específica	Fitoplâncton quantitativo
39035000	-7,535	-34,889	16	16	16	16	2	2	6	9	9	6	6	9	9	2	16	6

Estação / Parâmetro	Latitude	Longitude	Total de medições	pH	Turbidez	OD	Sólidos suspensão total	Sólidos dissolvidos totais	Cloretos	Nitrogênio Amoniacal	Nitratos	Clorofila	Alcalinidade total	Ortofosfato	Fósforo total	Escherichia	Condutividade específica	Fitoplâncton quantitativo
39081072	-7,333	-34,995	14	13	14	14	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	14	6
39081080	-7,279	-35,043	14	14	14	14	2	2	6	9	9	6	6	9	9	2	14	6
39081120	-7,438	-34,848	14	14	14	14	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	14	6
39081150	-7,488	-34,818	14	14	14	14	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	14	6
39084080	-7,290	-34,959	16	16	16	16	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	16	6

Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.2.3 Avaliação do monitoramento por bacia

A relação entre a quantidade de pontos de monitoramento e a unidade de área foi analisada a fim de qualificar o monitoramento realizado em cada bacia. Os padrões recomendados pela *World Meteorological Organization* -WMO (WMO, 2008) e pela ANA, bem como o número de estações instaladas nas BHLS estão apresentados pela **Tabela 2-10**. É válido ressaltar que a unidade fisiográfica considerada para a determinação densidade mínima recomendada pela WMO foi a unidade de áreas costeiras.

Tabela 2-10. Recomendações do número de estações por unidade de área (km²), segundo a WMO e a ANA.

Tipo de monitoramento	Nº de postos na BH Abiaí*	Nº de postos na BH Gramame*	Critério WMO (km ²)	Recomendação WMO (pontos)	Critério ANA (km ²)	Recomendação ANA (postos)
Precipitação	3	6	9.000	1	-	-
Evaporação	0	0	50.000	1	-	-
Vazão	0	0	2.750	2	-	-
Qualidade da água	3	3	55.000	1	1.000	1 a 2

*Os valores apresentados são referentes às estações instaladas e que contém dados no Portal HidroWeb.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Percebe-se que o número de estações pluviométricas e de qualidade da água é considerado como adequado para ambas as bacias hidrografias de acordo com os critérios da WMO e ANA. Entretanto, a distribuição espacial do monitoramento deve ser incrementada, com determinação de estações de monitoramento que possuam uma área de influência similar para toda a bacia do rio Gramame e Abiaí. Ao analisar a área de influência das estações pluviométricas que possuem dados (**Figura 2-11**), percebe-se que existem regiões que carecem de informações. Como exemplo, na bacia do Abiaí apenas três postos pluviométricos possuem dados observados, dificultando a representação da distribuição espacial da precipitação. Dessa forma, apesar do

número de estações ser considerado como adequado pelos critérios da WMO, é necessário aprimorar o monitoramento tomando como base as peculiaridades das BHLS e a necessidade de ter dados observados a fim de subsidiar estudos futuros acerca da disponibilidade de água.

Quanto às estações de qualidade da água, apenas medições pontuais e séries históricas relativamente curtas estão disponíveis.

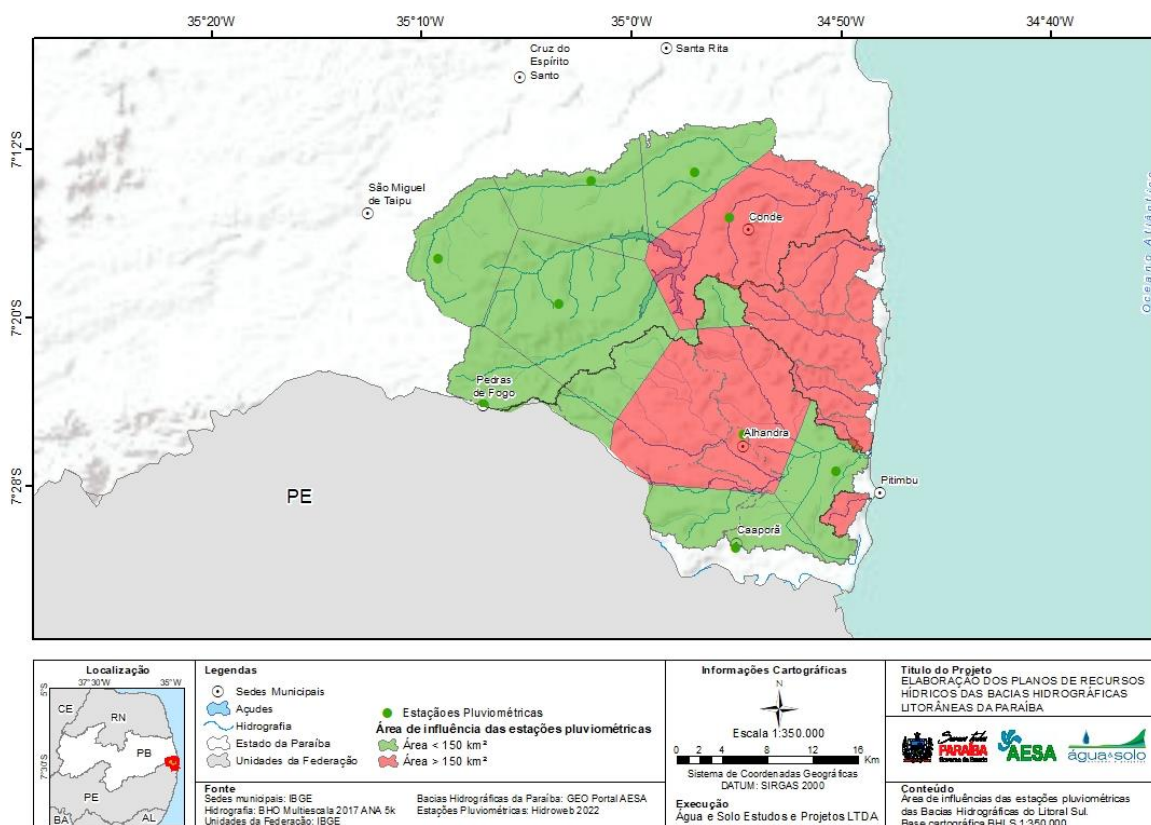


Figura 2-11. Área de influência de cada estação pluviométrica nas BHLS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Com relação às estações meteorológicas, necessárias para a determinação das taxas de evaporação na bacia, percebe-se uma grande lacuna nos dados, pois não há nenhuma estação instalada na área das BHLS. O mesmo ocorre para as estações fluviométricas, que são necessárias para determinação das séries históricas de vazão. Essa falta de informações dificulta a determinação das vazões de referência e da disponibilidade hídrica. Nesse sentido, indica-se que o monitoramento dessas variáveis seja aprimorado por meio da instalação de novas estações. A proposição de uma rede hidrométrica complementar de monitoramento está apresentada com mais detalhes na seção do texto “5. Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico”.



3 Diagnóstico das águas superficiais das BHLS

A determinação do regime hidrológico é essencial para o direcionamento das ações relacionadas a gestão de recursos hídricos. Para isso, define-se a disponibilidade e a potencialidade hídrica da área de interesse. As estimativas de disponibilidade e potencialidade hídrica superficial visam, fundamentalmente, reduzir os conflitos advindos do uso múltiplo da água e subsidiar o planejamento de políticas públicas.

Define-se potencial hídrico superficial como a média dos escoamentos naturais anuais. Isto é, a capacidade de produção de água na bacia, considerando o padrão dos usos consuntivos presentes na bacia. A identificação das áreas com maior potencial de produção de água superficial na bacia permite elaborar alternativas de transposição, definir regiões com maior capacidade de armazenamento, enquadramento dos corpos hídricos e as prioridades para outorga de direito de uso das águas, além de contribuir para a definição de diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso das águas e lançamento de efluentes.

A disponibilidade hídrica superficial é definida como o volume de água efetivamente disponível em termos de quantidade e qualidade, considerando a manutenção e sustentabilidade ecológica dos recursos hídricos e das atividades da região.

Esses conceitos de disponibilidade hídrica e potencialidade hídrica foram obtidos na Atualização do PERH-PB.

3.1 Modelagem hidrológica

Para a determinação das vazões de referência para os principais cursos de água das BHLS (disponibilidades e potencialidades), considerou-se as características de cada sub-bacia e a disponibilidade de dados em cada uma delas. Devido à carência ou insuficiência de dados, optou-se pela aplicação de um modelo hidrológico para caracterizar a disponibilidade hídrica superficial.

O modelo hidrológico utilizado para estimar as vazões de referência foi o HEC-HMS versão 4.9 (USACE-HEC, 2022), que permite realizar simulações dos processos de transformação da chuva em vazão em bacias hidrográficas dentríficas, possibilitando que sejam analisados, entre outros parâmetros, o volume escoado, a vazão de pico e o tempo de escoamento (USACE, 2022). Como resultados da aplicação desse modelo em uma área, é possível estimar a resposta de um rio a determinado evento de precipitação, com intensidade e frequência conhecidas, sendo que o modelo HEC-HMS exige dados de entrada com resolução temporal diários.

Para aplicar o HEC-HMS é necessário primeiramente discretizar a bacia hidrográfica em sub-bacias. Normalmente a divisão é realizada considerando os principais cursos de água, o tipo e o uso do solo na área, entre outras características físicas, de modo que sejam agrupadas em uma mesma sub-bacia as áreas que possuam características hidrológicas semelhantes. Ou seja, em uma mesma sub-bacias devem ser agrupadas as áreas que possuem características relacionadas à capacidade de infiltração e geração de escoamento semelhantes, por exemplo, e que tendem a responder de forma similar a um evento de precipitação. No caso em estudo, a divisão em sub-bacias foi realizada considerando principalmente os diferentes usos do solo, as porções das bacias que possuem diferentes declividades, a presença de reservatórios estratégicos e a existência de postos fluviométricos que possibilitassem a calibração do modelo.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado a fim de delimitar as sub-bacias foi o MDT da ALOS que possui resolução espacial de 12,5 metros. Esse produto foi obtido de forma gratuita a partir do site do portal Data SearchVertex (<https://search.asf.alaska.edu/>).

Dessa forma, a fim de facilitar a análise e o processamento dos dados, foram elaborados três modelos hidrológicos, um para cada uma das grandes bacias hidrográficas do Litoral Sul, ou seja, um modelo para a bacia do rio Gramame e outro para a bacia do rio Abiaí, e outro modelo referente às pequenas UPHs litorâneas (**Figura 3-1**, **Figura 3-2** e **Figura 3-3**). Na **Tabela 3-1**, na **Tabela 3-2** e na **Tabela 3-3** estão apresentadas as coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias utilizadas pelo modelo hidrológico, bem como uma breve descrição da área de abrangência de cada uma delas.

Vale ressaltar que as áreas em branco fora dos limites das sub-bacias não tem contribuição para os modelos hidrológicos, mas seguem contempladas dentro das Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) para fins de gestão das águas e demais recursos naturais.

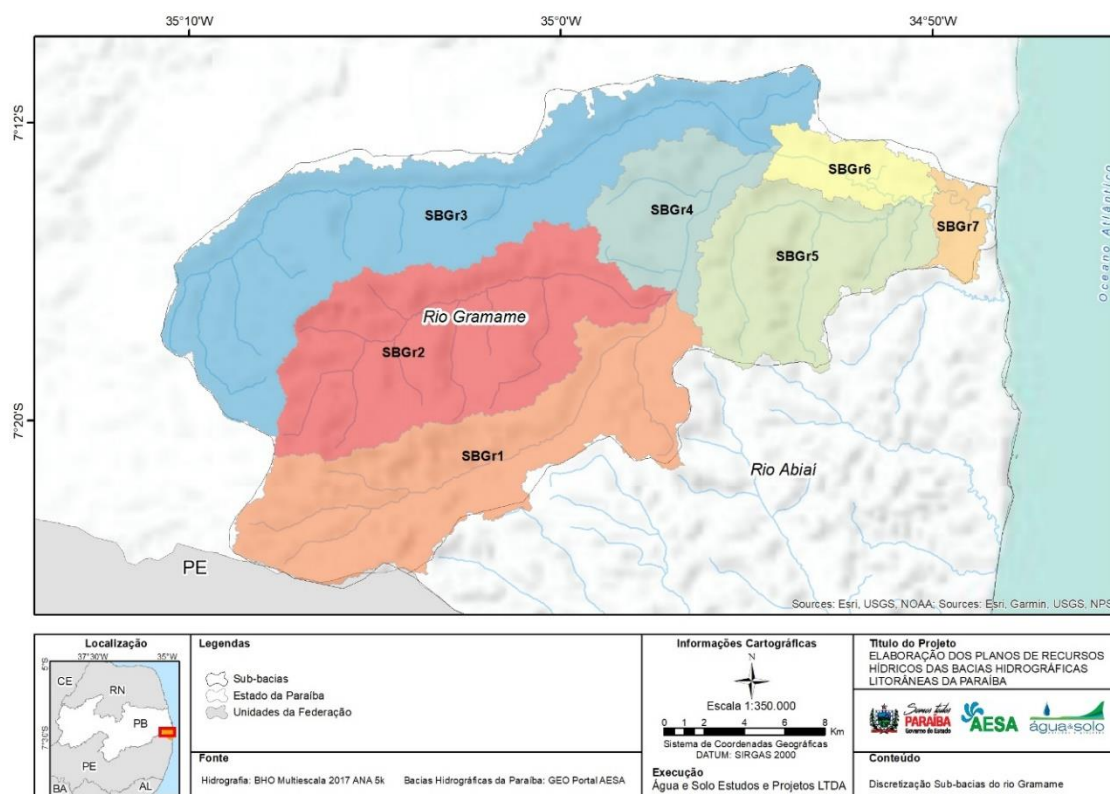


Figura 3-1. Divisão da bacia hidrográfica do rio Gramame em sub-bacias para aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 3-1 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Gramame.

Sub-bacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBGr1	-7,247	-7,406	-34,936	-35,147	Área de drenagem do rio Gramame à montante do açude Gramame-Mamuaba
SBGr2	-7,243	-7,351	-34,949	-35,128	Área de drenagem do rio Mamuaba.
SBGr3	-7,174	-7,340	-34,883	-35,179	Área de drenagem do rio Mumbaba
SBGr4	-7,201	-7,286	-34,900	-34,988	Área de drenagem do rio Gramame, antes de sua confluência com o rio Mumbaba, à exceção da área das sub-bacias SBGr1 e SBGr2
SBGr5	-7,224	-7,312	-34,830	-34,941	Área de drenagem do riacho Ipiranga
SBGr6	-7,199	-7,239	-34,829	-34,909	Área de drenagem do rio Gramame, antes de sua confluência com o riacho Ipiranga, à exceção das áreas das sub-bacias SBGr1 a SBGr4
SBGr7	-7,219	-7,272	-34,805	-34,839	Área de drenagem do rio Gramame, à exceção da área das sub-bacias SBGr1 a SBGr6

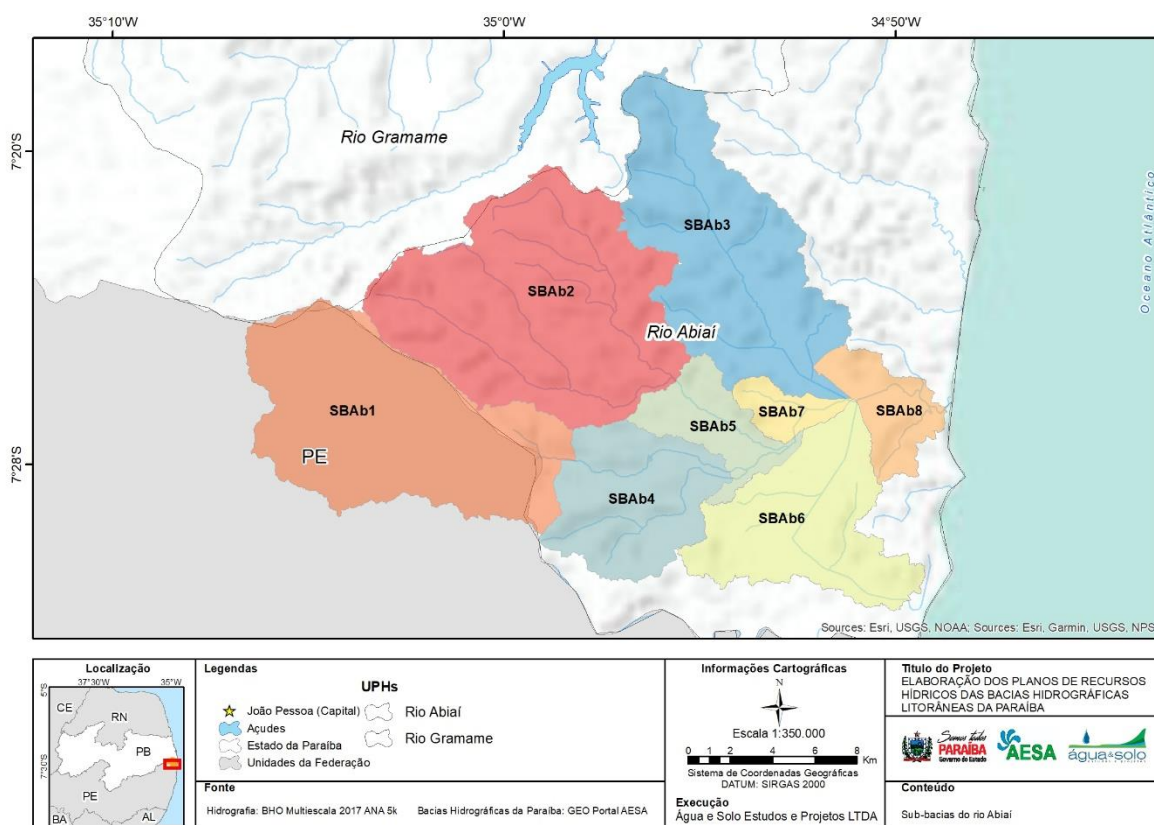


Figura 3-2. Divisão da bacia hidrográfica do rio Abiaí em sub-bacias para aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 3-2 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Abiaí.

Sub-bacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBAb1	-7,395	-7,496	-34,969	-35,110	Área de drenagem situada à montante da confluência do rio Dois Rios e Muzumba
SBAb2	-7,338	-7,452	-34,920	-35,060	Área de drenagem situada à montante da confluência do rio Papocas e do riacho Taperubus
SBAb3	-7,297	-7,438	-34,851	-34,952	Área de drenagem do rio Aterro
SBAb4	-7,447	-7,517	-34,902	-34,985	Área de drenagem situada à montante da confluência do rio do Galo e do rio Cupissura, à exceção da área da sub-bacia SBAb1
SBAb5	-7,419	-7,484	-34,872	-34,948	Área de drenagem do rio Papocas, à exceção da área das sub-bacias SBAb1, SBAb2 e SBAb4
SBAb6	-7,438	-7,529	-34,820	-34,926	Área de drenagem do rio Camocim
SBAb7	-7,428	-7,457	-34,851	-34,903	Área de drenagem do rio Papocas, à exceção da área das sub-bacias SBAb1, SBAb2, SBAb4, SBAb5, SBAb6
SBAb8	-7,415	-7,475	-34,809	-34,868	Área de drenagem do rio Abiaí, à exceção da área das sub-bacias SBAb1 a SBAb7

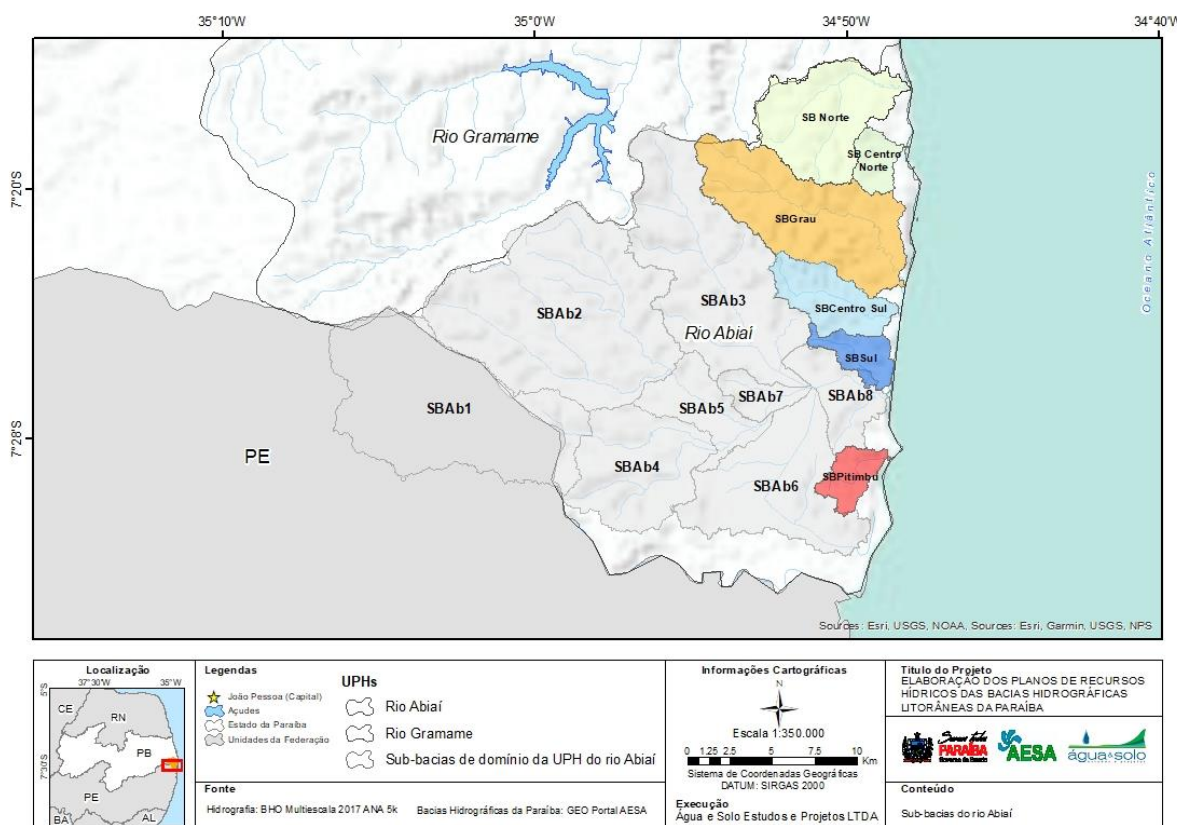


Figura 3-3. Sub-bacias do domínio da UPH do Abiaí consideradas no modelo hidrológico HEC-HMS.

Tabela 3-3 - Coordenadas limites das sub-bacias utilizadas como base para o modelo hidrológico das pequenas Unidades de Planejamento Hidrológico.

Sub-bacia	Norte	Sul	Leste	Oeste
SBGuruji	-7,263	-7,331	-34,799	-34,883
SBCentro Norte	-7,300	-7,336	-34,799	-34,830
SBGru	-7,303	-7,391	-34,801	-34,914
SBCentro Sul	-7,365	-7,412	-34,805	-34,875
SBSul	-7,404	-7,440	-34,808	-34,854
SBPitumbu	-7,470	-7,507	-34,809	-34,850

A partir da definição das sub-bacias de interesse, foram determinados os métodos para representar cada uma das etapas do ciclo hidrológico. No caso em estudo, a escolha dos métodos foi realizada com base nos dados disponíveis para os parâmetros físicos das bacias hidrográficas. A **Tabela 3-4** apresenta os métodos que foram aplicados para representar cada uma das etapas do ciclo hidrológico e nos parágrafos subsequentes é realizada uma breve descrição de cada um deles.

Tabela 3-4. Métodos utilizados para representar as etapas do ciclo hidrológico.

Etapas do ciclo hidrológico	Método aplicado
Infiltração	Déficit e constante
Interceptação	Cobertura simples
Transformação da chuva em vazão	Hidrograma unitário de Clark
Fluxo de base	Reservatório linear
Evapotranspiração	Médias mensais



Etapa do ciclo hidrológico	Método aplicado
Propagação do escoamento	Muskingum-Cunge

Fonte: Acervo próprio, 2022

Para determinar a infiltração da água, foi escolhido o método definido como *Déficit e Constante* (USACE-HEC, 2022), que considera que uma parcela inicial da água da chuva irá infiltrar e, depois de atingido o valor do déficit inicial, a infiltração continuará a uma taxa constante até o final do evento de precipitação. Esse método considera que a camada do solo seca entre os eventos de precipitação à medida que o dossel extrai a água do solo, ou seja, é um método indicado para realizar simulações por contínuo. Para utilização desse método, é necessário determinar o valor de três parâmetros no modelo, sendo eles: i) o déficit inicial (mm); ii) o déficit máximo (mm); e iii) a taxa de infiltração (mm/h). As estimativas iniciais dos valores desses parâmetros foram baseadas nos valores que estão presentes na Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos (2020).

De acordo com USACE-HEC (2022), esse método deve ser utilizado em conjunto com um método de interceptação da água, que se refere à retenção da água da chuva em folhas e caules e que aumentam a evaporação da água em detrimento do escoamento (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Nesse caso, foi considerado o método de *Cobertura simples* em que é definido um valor relativo ao máximo armazenamento do dossel. Dessa forma, é considerada que toda a precipitação será interceptada até atingir esse limiar estabelecido. Atingido esse limiar, o excedente chega à superfície e pode infiltrar no solo (USACE, 2022) (**Figura 3-4**). Os parâmetros necessários à aplicação desse método de interceptação são: i) o armazenamento inicial (%); e ii) o armazenamento máximo do dossel (mm).

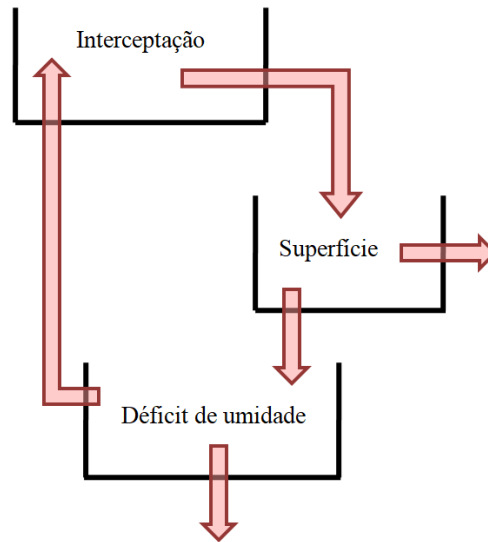


Figura 3-4. Esquema do modelo hidrológico adotado por esse estudo.
Fonte: COLLISCHONN e DORNELLES, 2013

Como método de transformação da chuva em vazão foi escolhido o *Hidrograma Unitário de Clark*, que está baseado em um hidrograma unitário sintético, ou seja, o usuário não precisa desenvolver um hidrograma unitário a partir de análises dos hidrogramas observados na bacia hidrográfica em estudo. Nesse caso, o HEC-HMS utiliza uma curva tempo x área para estimar o hidrograma resultante de um evento de precipitação (USACE-HEC, 2022).

Como dados de entrada desse método é necessário inserir o tempo de concentração e o coeficiente de armazenamento de cada uma das sub-bacias em análise. No caso em estudo, o tempo de concentração foi determinado a partir do uso da Equação de Kirpich (Equação 1). Inicialmente essa equação foi desenvolvida considerando bacias rurais com áreas de até 0,5 km². Entretanto, Silveira (2005) realizou análises e comprovou sua aplicabilidade para bacias de até 12.000 km².

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde:

t_c é o tempo de concentração da bacia hidrográfica (minutos)

L é o comprimento do rio principal (km)

Δh é a diferença de altitude ao longo do curso de água principal (m)

Para a determinação do coeficiente de armazenamento de cada uma das sub-bacias foi utilizada a Equação 2 (DOOGE, 1973). Embora o coeficiente de armazenamento (K) tenha unidade de

tempo, esse parâmetro não possui um significado físico. O coeficiente de armazenamento é um índice que representa um tempo de armazenamento que a bacia exerce na transformação da chuva efetiva em vazão no ponto de interesse.

$$K = 80,7 * A^{0,23} * S^{-0,70} \quad (2)$$

Onde:

K é o coeficiente de armazenamento (h)

A é a área da bacia (km²)

S é a declividade média do curso de água principal multiplicado por 10.000

Com relação à vazão de base, essa foi representada pelo método do *Reservatório linear*, que utiliza um sistema baseado em um reservatório linear para simular a recessão do fluxo de base após um evento de chuva. Dos métodos disponíveis para aplicação o fluxo de base no HEC-HMS, esse é o único que conserva a massa dentro de cada sub-bacia. A infiltração ou percolação que é determinada pelo método de perda é conectada como afluência aos reservatórios lineares. No HEC-HMS, podem ser inseridos até três reservatórios lineares para realizar as simulações, sendo que frações de partição são usadas para dividir o afluxo para cada um dos reservatórios (USACE-HEC, 2022). Para aplicação desse método de fluxo de base é necessário determinar o valor dos seguintes parâmetros para cada um dos reservatórios lineares utilizados: i) fração do escoamento em cada reservatório; e ii) coeficiente relativo ao tempo de resposta do fluxo de água subterrânea na bacia (h).

As perdas de água que ocorrem devido à evapotranspiração foram calculadas pelo método de Hargreaves (1985) que também foi utilizado para determinar a evapotranspiração na Atualização do PERH-PB. No caso em estudo, a evapotranspiração potencial para as BHLS foi determinada tomando como base a série histórica da estação João Pessoa (82798). É válido destacar que essa estação se encontra sob responsabilidade do INMET. Os dados relativos à evapotranspiração mensal inseridos como entrada no modelo hidrológico estão apresentados pela **Tabela 3-5**.

Tabela 3-5. Evapotranspiração mensal considerada no modelo hidrológico.

Mês	Evapotranspiração (mm)
Janeiro	123,2
Fevereiro	115,0
Março	127,4
Abril	116,0
Mai	109,6



Mês	Evapotranspiração (mm)
Junho	97,4
Julho	100,8
Agosto	111,2
Setembro	113,4
Outubro	119,2
Novembro	115,5
Dezembro	121,5

Fonte: Acervo próprio, 2022

Por fim, o método utilizado para realizar a propagação do escoamento dentro das sub-bacias foi o de Muskingum-Cunge, que está baseado na combinação da conservação da massa e na representação da difusão da conservação do momento. Os parâmetros necessários à sua aplicação são relativos às características físicas das sub-bacias como, por exemplo, largura e declividade dos rios, e foram obtidos a partir do uso de *softwares* de SIG.

É válido ressaltar que as simulações foram realizadas considerando um longo período de dados, compreendendo os anos de 1994 a 2018. Nesse sentido, todos os métodos que foram aplicados no modelo hidrológico no HEC-HMS são indicados para realizar simulações por contínuo. Dessa forma, é possível determinar as curvas de permanência para os principais cursos de água das BHLS e suas respectivas vazões de referência.

Além dos dados de entrada referentes aos parâmetros dos métodos aplicados, outro dado de entrada necessário para execução do modelo no HEC-HMS são as séries históricas de precipitação para a região em estudo. Nesse caso, foram inseridas as séries históricas de todas as estações pluviométricas que possuam dados (**Tabela 2-6**). A utilização dos dados de todas as estações se deve ao fato de que a precipitação é um fenômeno que possui elevada variabilidade espacial e, dessa forma, a utilização das séries históricas de várias estações permite representar de forma mais precisa essa variação. A partir desses dados, o método escolhido para ser utilizado no HEC-HMS a fim de determinar a precipitação média dentro de cada sub-bacia foi o do *Inverso da distância*.

No caso em estudo, não foi possível utilizar os dados observados disponíveis referentes às estações 38000001 e 38000002 como base calibração do modelo hidrológico, visto que os dados contemplavam um período pouco representativo e inconsistências em seus valores diários. Dessa forma, a definição dos parâmetros de entrada do modelo foi realizada a partir da regionalização dos valores obtidos a partir da calibração da bacia do rio Mamanguape,



considerando a sub-bacia localizada mais a jusante com parâmetros calibrados (SBMa8, apresentada no Estudo Hidrológico: Potencialidades e Disponibilidades Hídricas das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte) e que se situa próxima ao litoral, possuindo, assim, características de similaridade hidrológica com as sub-bacias dos rios Gramame e Abiaí e com as pequenas UPHs litorâneas.

Entretanto, destaca-se que os resultados obtidos a partir do uso do modelo têm relação direta com a qualidade dos dados de entrada. Por esse motivo, é de suma importância manter uma rede de monitoramento fluviométrico contínuo nos principais rios e pontos de interesse das BHLS. Na seção do texto “5. *Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico*”, está apresentada uma sugestão de complementação da rede fluviométrica para essas bacias.

3.2 Potencialidade e disponibilidade hídrica das bacias

As vazões que representam a quantidade de água disponível aos usos múltiplos das águas nas bacias hidrográficas dos rios Gramame, Abiaí e nas sub-bacias de domínio da UPH do rio Abiaí foram geradas a partir do modelo hidrológico elaborado no HEC-HMS.

Para avaliar as potencialidades e a disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica, normalmente são avaliadas vazões de permanência, que representam as vazões mínimas que caracterizam condições de garantia de água no manancial. Nesse sentido, cada local utiliza uma determinada vazão de permanência para analisar a disponibilidade hídrica que varia conforme as demandas e as particularidades de cada região. No caso das BHLS, a vazão de permanência adotada foi a Q_{90} , que representa a quantidade de água que pode ser garantida em um curso de água em 90% do tempo. A Q_{90} foi utilizada para corroborar e verificar as informações previamente geradas na Atualização do PERH-PB.

Além disso, também foram determinadas as vazões médias de longo período para cada bacia. A vazão média de longo período representa o limite máximo teórico de regularização hídrica, ou seja, o potencial hídrico da bacia.

Dessa forma, a potencialidade hídrica foi representada pela média dos escoamentos naturais anuais, ou seja, as vazões médias anuais considerando os padrões de usos consuntivos de águas nas BHLS. Nesse caso, a definição das vazões naturais foi feita a partir das séries sintéticas de vazões geradas pelo modelo hidrológico. Já o balanço dos padrões de consumo e retorno dos usos consuntivos de água foi realizado considerando os coeficientes apresentados pelo *Manual de Usos Consuntivos da água no Brasil* (2019), sendo que o consumo de água de cada bacia foi

determinado a partir do cadastro de outorgas da AESA. Os valores dos coeficientes de retorno utilizados para cada atividade consuntiva são demonstrados na **Tabela 3-6**.

Tabela 3-6. Coeficientes de retorno dos principais usos consuntivos da água.

Uso Consuntivo de Água	Coefficiente de Retorno
Abastecimento Público	0,80
Abastecimento Rural	0,92
Aquicultura	0,30
Agroindústria	0,64
Industrial	0,23
Irrigação	0,11
Tratamento de Efluentes	0,80

Fonte: Manual de Usos Consuntivo de Águas no Brasil (2019).

Nas próximas seções do texto estão apresentadas as vazões de referência para as bacias dos rios Gramame, Abiaí e para as sub-bacias de domínio da UPH do rio Abiaí, respectivamente. Destaca-se que nas áreas de interesse das BHLS não existem séries históricas de vazões. Portanto, os valores de referência a serem apresentados foram exclusivamente obtidos a partir da modelagem hidrológica desenvolvida para a região.

3.2.1 *Bacia hidrográfica do rio Gramame*

3.2.1.1 *Disponibilidades*

Os valores das vazões de permanência apresentados na **Tabela 3-7** representam a disponibilidade de água superficial em cada sub-bacia da BH do rio Gramame. As vazões foram obtidas a partir da regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico calibrado para a área costeira das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte (BHLN), devido à ausência de monitoramento fluviométrico nas bacias do Litoral Sul. O período considerado para a elaboração da série histórica de vazões simuladas para essas sub-bacias foi de janeiro de 1994 a dezembro de 2018, período em que muitas estações pluviométricas foram instaladas na região.

Tabela 3-7. Disponibilidade de água superficial em cada sub-bacia da hidrográfica do rio Gramame.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q ₉₀ específica (m ³ /s.km ²)
SBGr1	Alto Gramame	124,49	0,612	0,0049
SBGr2	Rio Mamuaba	128,19	0,520	0,0041
SBGr3	Rio Mumbaba	168,61	0,402	0,0024
SBGr4	Médio Gramame	43,70	0,236	0,0054
SBGr5	Riacho Ipiranga	73,01	0,397	0,0054
SBGr6	Baixo Gramame	22,19	0,081	0,0036
SBGr7	Foz Gramame	11,47	0,041	0,0036

Fonte: Acervo próprio, 2022

De maneira geral, a distribuição de água ao longo da bacia se mostrou semelhante, com maiores disponibilidades específicas nas bacias SB4 (Médio Gramame) e SB5 (Riacho Ipiranga). A sub-bacia que demonstrou menor disponibilidade de água foi a SB3 (Rio Mumbaba). A **Figura 3-5** exhibe de forma espacializada as disponibilidades de água superficial em cada sub-bacia e a **Figura 3-6** apresenta a curva de permanência no exutório da bacia do rio Gramame.

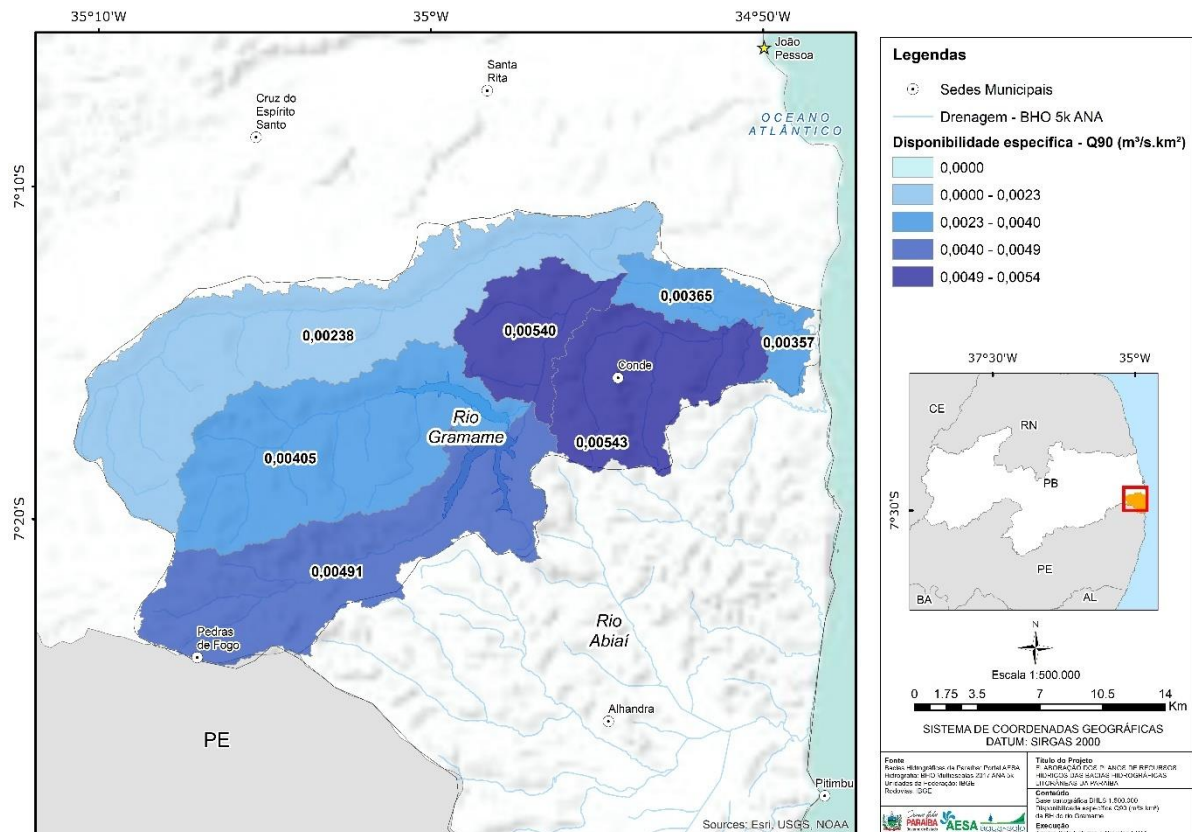


Figura 3-5. Disponibilidade (Q_{90}) específica ($m^3/s.km^2$) das sub-bacias do rio Gramame.
Fonte: Acervo próprio, 2022

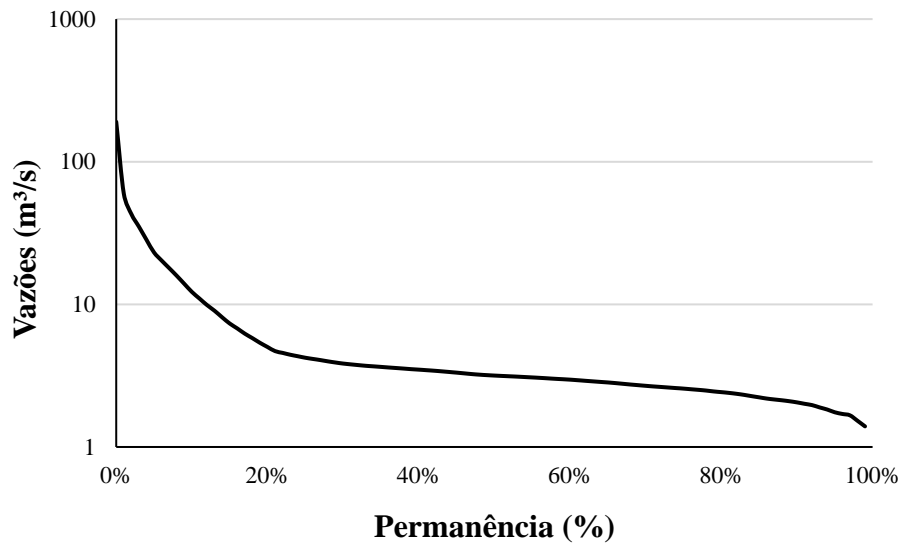


Figura 3-6. Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Gramame.

3.2.1.2 Potencialidades

A potencialidade das sub-bacias do rio Gramame foram definidas a partir das vazões médias simuladas, acrescentadas dos valores ativados da potencialidade em sua área de contribuição. A estimativa das potencialidades ativadas em cada região a montante foi realizada a partir do cadastro de outorga da AESA e o *Manual de Usos Consuntivos da água no Brasil* (2019). A **Tabela 3-8** e a **Figura 3-7** exibem os valores da potencialidade de água superficial na bacia do rio Gramame.

Tabela 3-8. Potencialidades das sub-bacias do rio Gramame.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem (km ²)	Q _{média} (m ³ /s)	Q _{média específica} (m ³ /s.km ²)
SBGr1	Alto Gramame	124,49	2,228	0,018
SBGr2	Rio Mamuaba	128,19	1,576	0,012
SBGr3	Rio Mumbaba	168,61	1,732	0,010
SBGr4	Médio Gramame	43,70	0,835	0,019
SBGr5	Riacho Ipiranga	73,01	1,493	0,020
SBGr6	Baixo Gramame	22,19	0,249	0,011
SBGr7	Foz Gramame	11,47	0,130	0,011

Fonte: Acervo próprio, 2022

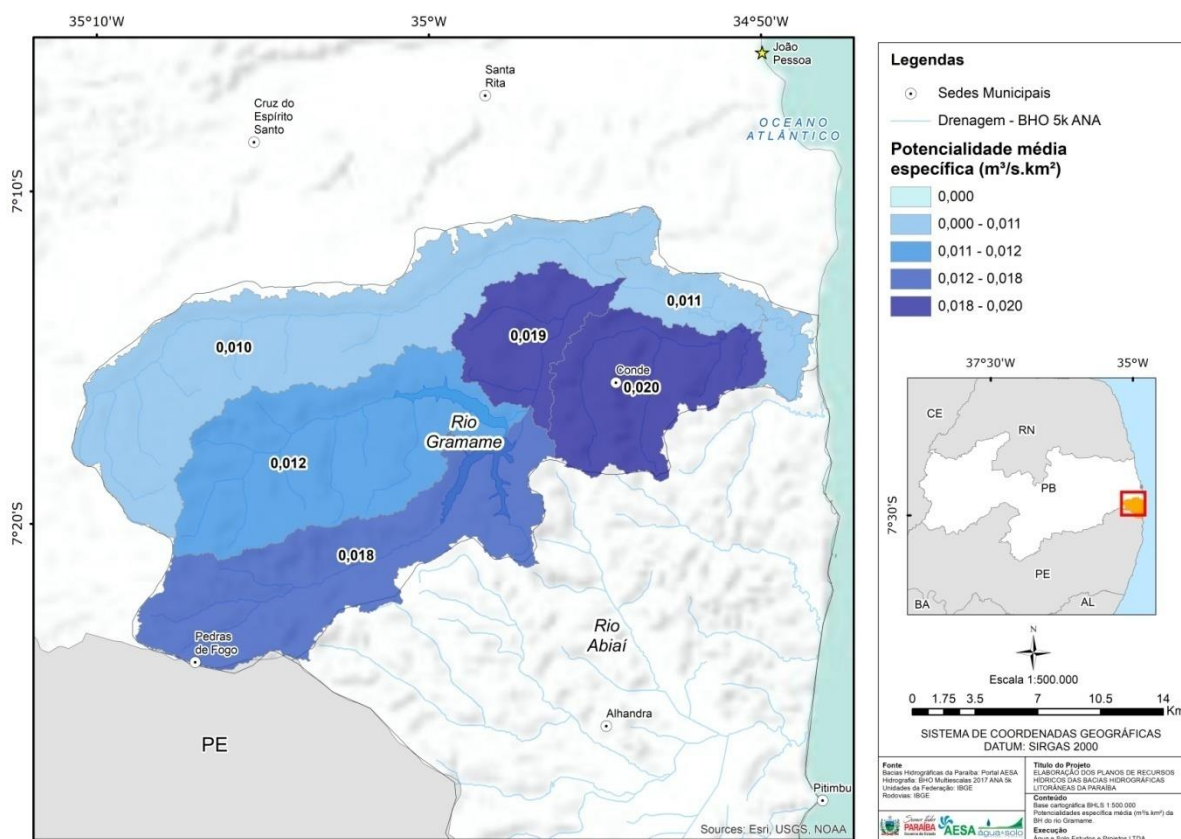


Figura 3-7. Potencialidade específica média ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para cada uma das sub-bacias do rio Gramame.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.2.2 *Bacia hidrográfica do rio Abiaí*

3.2.2.1 *Disponibilidades*

De acordo com informações que constam no Capítulo 5.1 do resumo expandido PERH-PB, as disponibilidades das bacias dos rios Abiaí e Miriri foram estimadas considerando a mesma vazão específica obtida para o rio Gramame, devido à semelhança entre as bacias, possibilitando, assim, a regionalização das vazões. Portanto, as vazões foram obtidas a partir da regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico calibrado para a área costeira das BHLN. O período considerado para a elaboração da série histórica de vazões simuladas para essas sub-bacias foi de janeiro de 1994 a dezembro de 2018, período em que há uma maior quantidade de dados referentes às séries históricas de precipitação. A **Tabela 3-9** apresenta as disponibilidades hídricas para cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.

Tabela 3-9. Disponibilidade de água superficial em cada sub-bacia da hidrográfica do rio Abiaí.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem (km^2)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{90} específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$)
SBAb1	Cupissura - PB	99,860	0,200	0,0020
SBAb2	Papocas	117,680	0,300	0,0025
SBAb3	Aterro	87,745	0,181	0,0021

Sub-bacia	Local	Área de drenagem (km ²)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q ₉₀ específica (m ³ /s.km ²)
SBAb4	Cupissura	45,421	0,063	0,0014
SBAb5	Alhandra	21,559	0,038	0,0018
SBAb6	Caaporã	55,551	0,114	0,0021
SBAb7	Médio Abiaí	8,948	0,018	0,0020
SBAb8	Baixo Abiaí	19,010	0,038	0,0020

Fonte: Acervo próprio, 2022

As sub-bacias apresentaram disponibilidade de água superficial específica similar, indicando um balanço homogêneo ao longo da bacia. Contudo, nesse caso, a má distribuição de postos pluviométricos na região pode estar enviesando esse comportamento na simulação hidrológica. A **Figura 3-8** exibe as disponibilidades de água superficial de cada sub-bacia e a **Figura 3-9** apresenta a curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Abiaí.

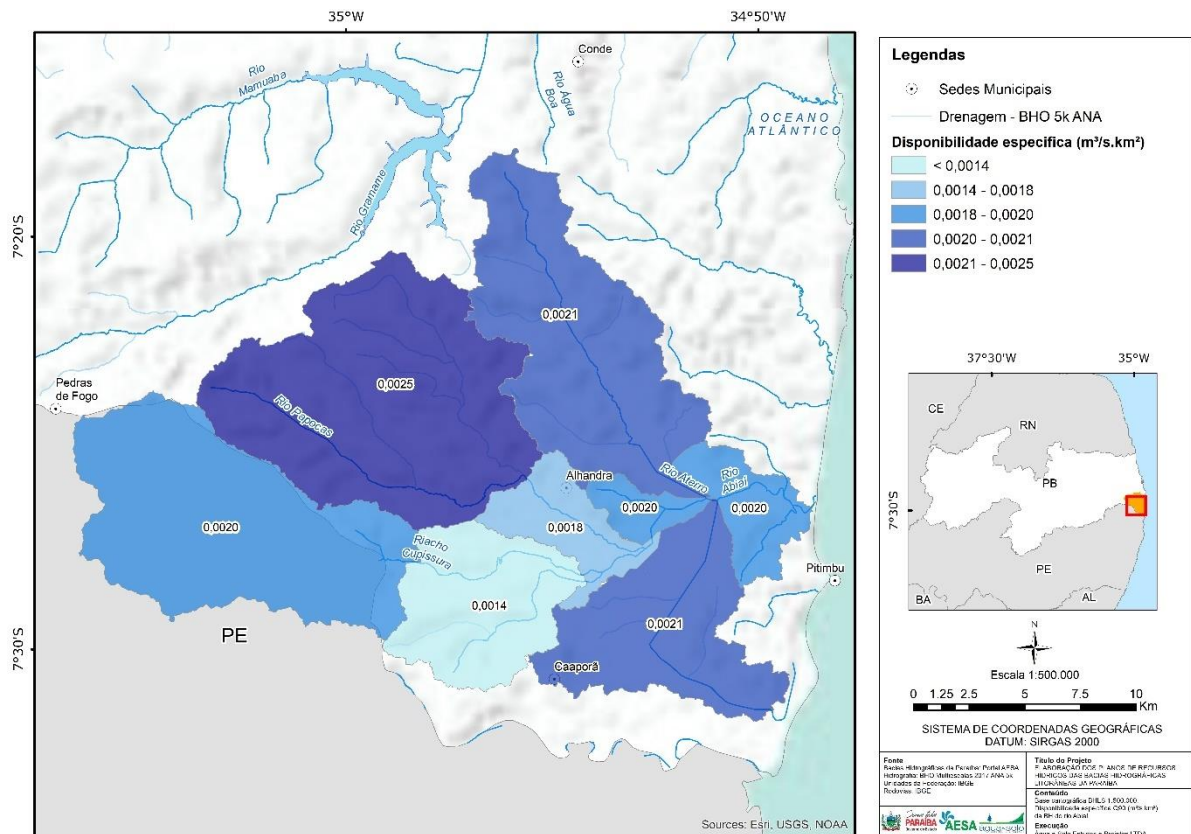


Figura 3-8. Disponibilidade (Q₉₀) específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.

Fonte: Acervo próprio, 2022.

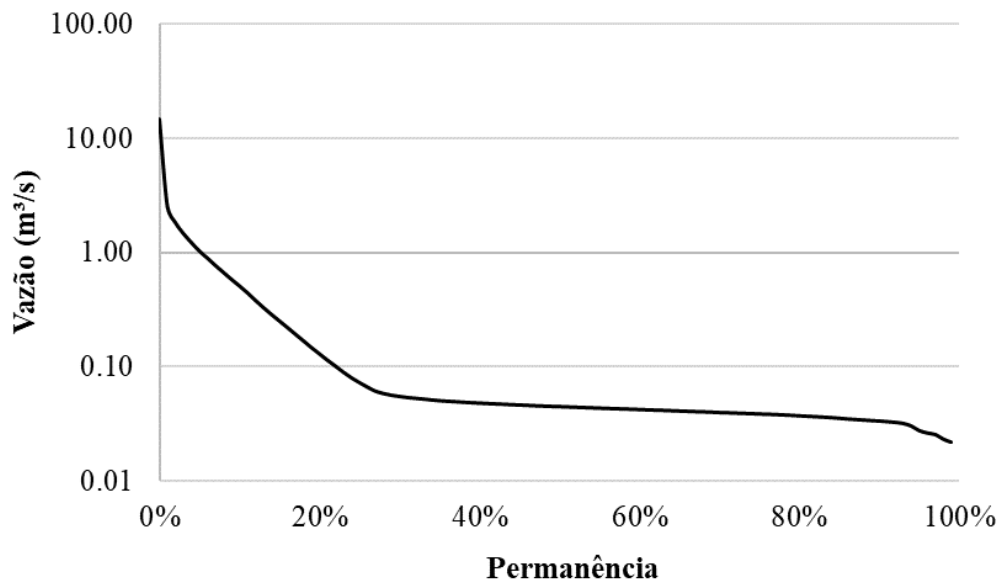


Figura 3-9. Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Abiaí.

3.2.2.2 Potencialidades

A potencialidade das sub-bacias do rio Abiaí foi definida a partir das vazões médias simuladas, acrescentadas dos valores ativados da potencialidade em sua área de contribuição. A estimativa das potencialidades ativadas em cada região a montante foi realizada a partir do cadastro de outorga da AESA e do *Manual de Usos Consuntivos da água no Brasil* (2019). A **Tabela 3-10** e a **Figura 3-10** exibem os valores da potencialidade de água superficial na bacia do rio Abiaí.

Tabela 3-10. Potencialidades para as sub-bacias do rio Abiaí.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem (km ²)	Q _{média} (m ³ /s)	Q _{média específica} (m ³ /s.km ²)
SBAb1	Cupissura - PB	99,860	1,517	0,0152
SBAb2	Papocas	117,680	1,025	0,0087
SBAb3	Aterro	87,745	0,594	0,0068
SBAb4	Cupissura	45,421	0,410	0,0090
SBAb5	Alhandra	21,559	0,731	0,0339
SBAb6	Caaporã	55,551	0,119	0,0021
SBAb7	Médio Abiaí	8,948	0,205	0,0229
SBAb8	Baixo Abiaí	19,010	0,204	0,0107

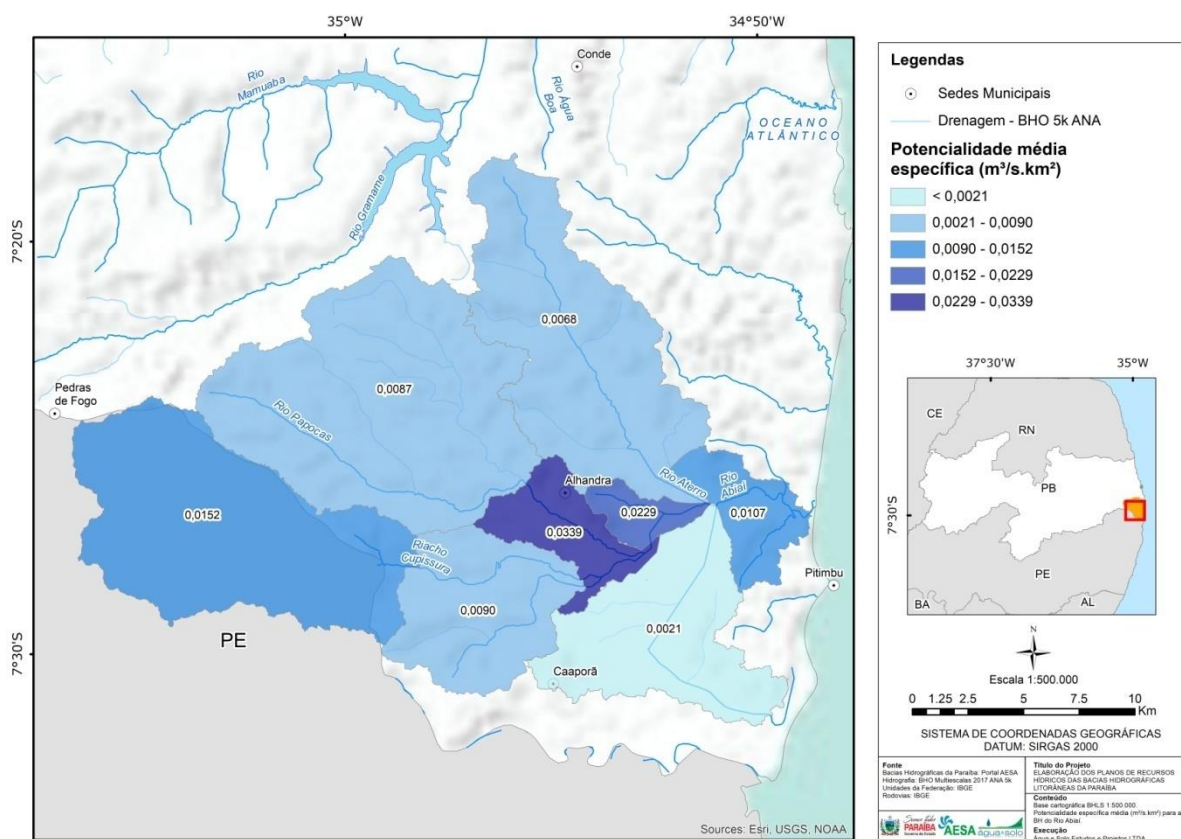


Figura 3-10. Potencialidade específica média ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$) para cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.2.3. Sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí

3.2.3.1. Disponibilidades

A **Tabela 3-11** apresenta os valores das Q_{90} e Q_{90} específica para as sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí. Assim como no caso das bacias do rio Gramame e Abiaí, os valores das vazões de permanência apresentadas pela tabela foram obtidos a partir da regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico. O período considerado para a elaboração da série histórica de vazões simuladas para essas foi de janeiro de 1994 a dezembro de 2018, período em que há uma maior quantidade de dados referentes às séries históricas de precipitação.

Tabela 3-11 – Disponibilidades hídricas das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.

Sub-bacia	Área de drenagem (km^2)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{90} específica ($\text{m}^3/\text{s.km}^2$)
Rio Guruji	41,22	0,260	0,0063
Centro Norte	8,07	0,057	0,0071
Rio Grau	60,77	0,436	0,0072
Centro Sul	20,56	0,155	0,0075
Sul	9,81	0,075	0,0076
Pitimbu	9,15	0,069	0,0075

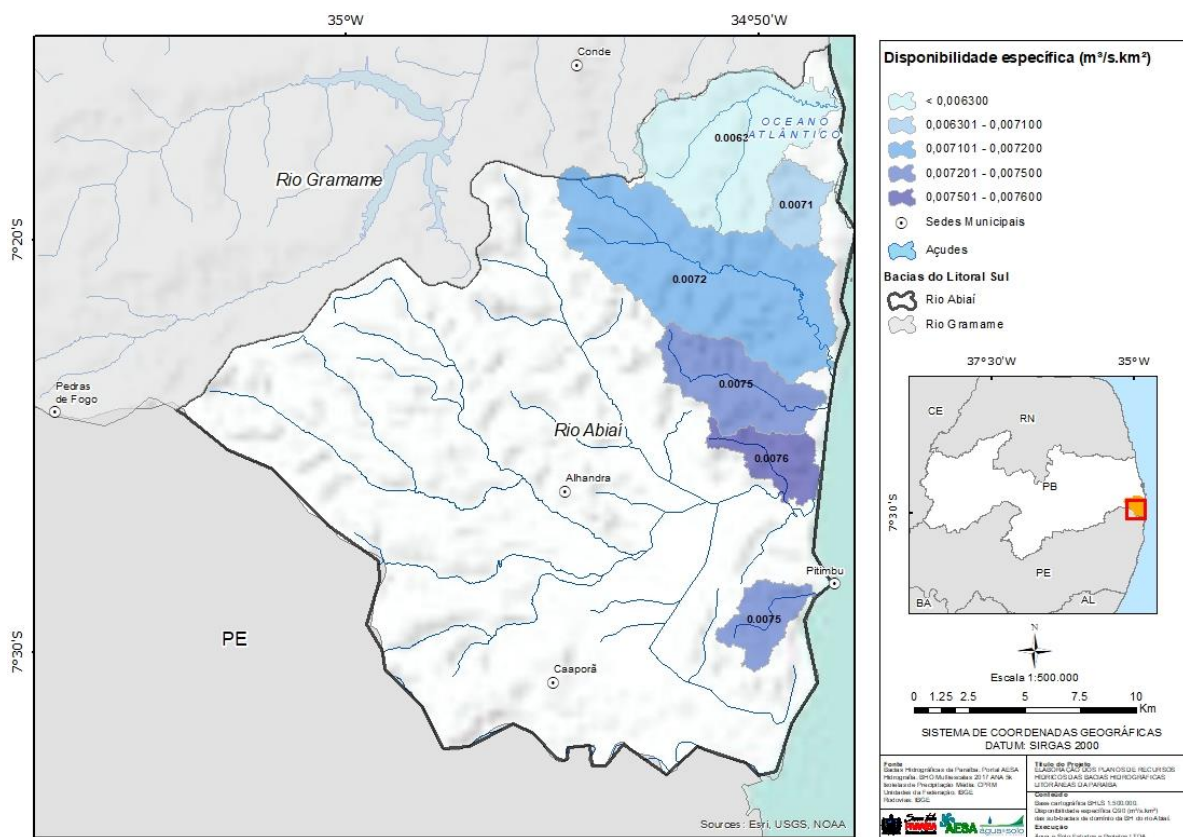


Figura 3-11. Disponibilidade específica média (m³/s.km²) para cada uma das sub-bacias do rio Abiaí.

Nas **Figura 3-12** a **Figura 3-17** estão apresentadas as curvas de permanência referentes à cada uma das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.

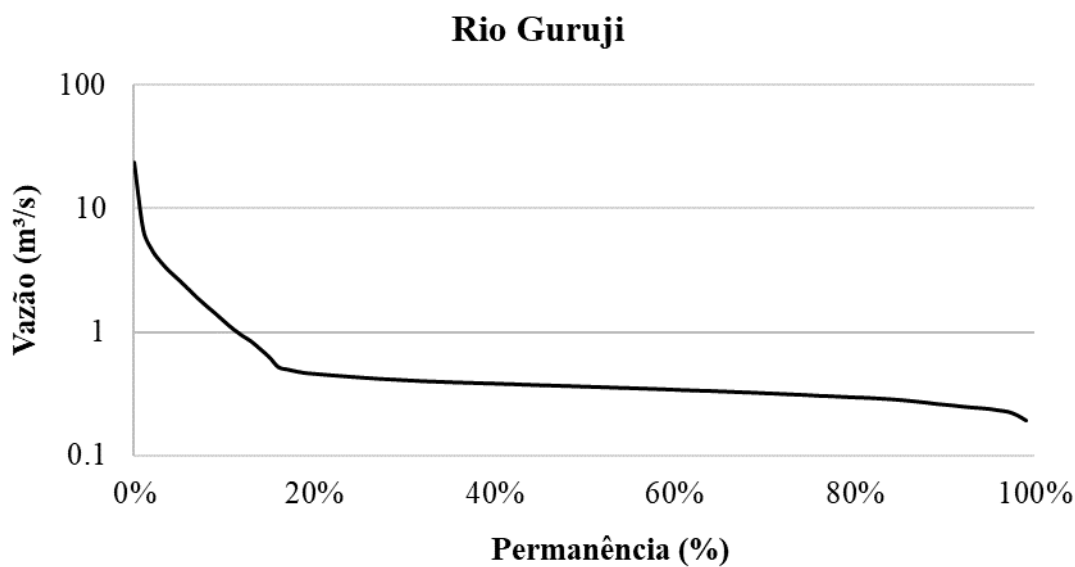


Figura 3-12 - Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Guruji.

UPH Centro Norte

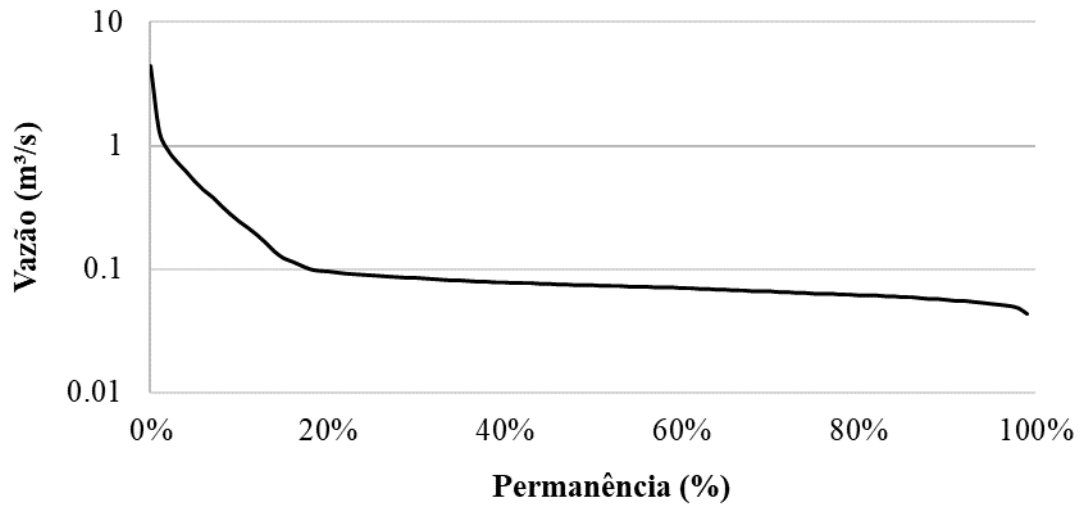


Figura 3-13 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Centro Norte.

Rio Grau

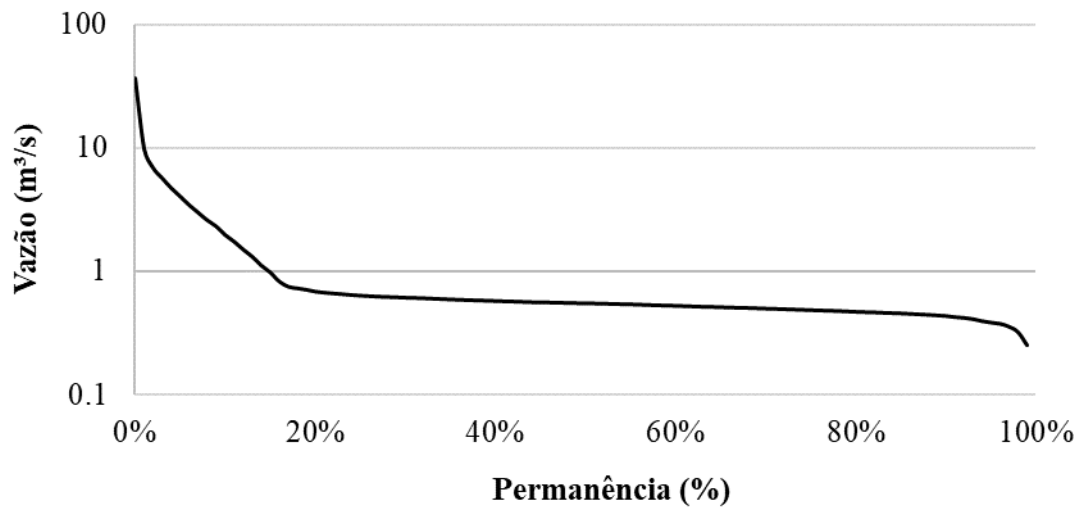


Figura 3-14 - Curva de permanência referente ao exutório da bacia hidrográfica do rio Grau.

UPH Centro Sul

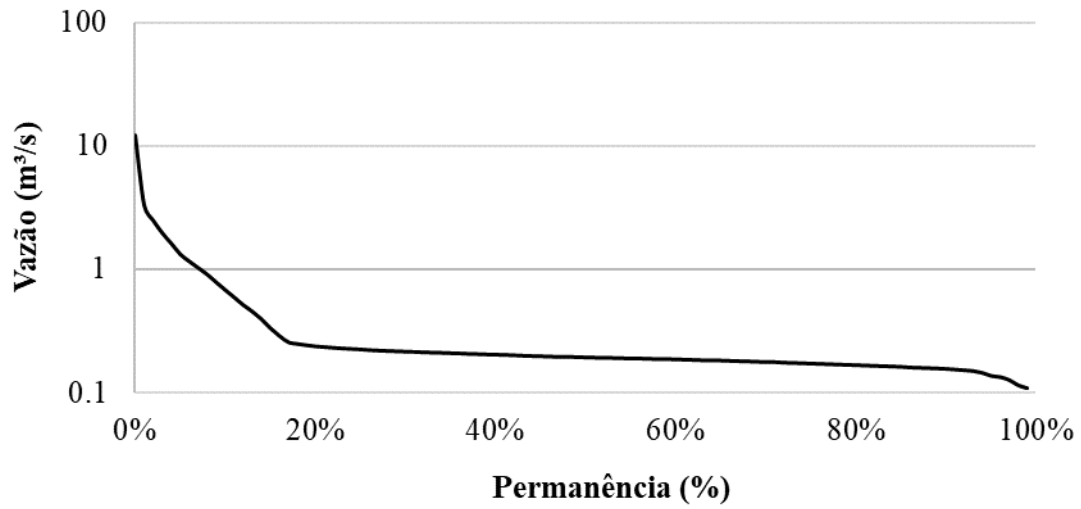


Figura 3-15 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Centro Sul.

UPH Sul

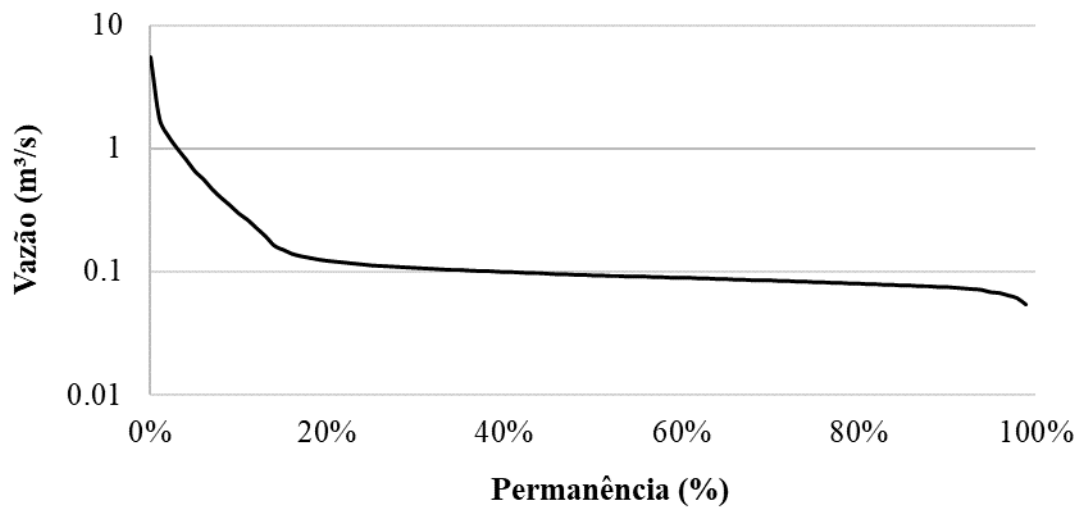


Figura 3-16 - Curva de permanência referente ao exutório da UPH Sul.

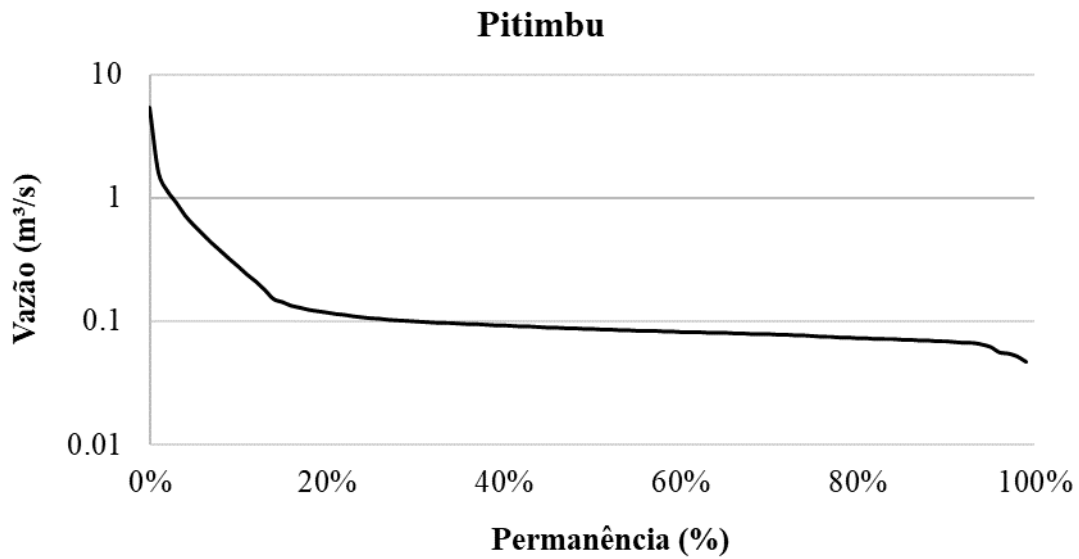


Figura 3-17. Curva de permanência referente ao exutório da bacia do rio Pitimbu.

3.2.3.2. Potencialidades

A potencialidade das sub-bacias de domínio da UPH do rio Abiaí foi definida a partir das vazões médias simuladas, acrescentadas dos valores ativados da potencialidade em sua área de contribuição. A estimativa das potencialidades ativadas em cada região a montante foi realizada a partir do cadastro de outorga da AESA e do *Manual de Usos Consuntivos da água no Brasil* (2019). A **Tabela 3-12** e a **Figura 3-18** exibem os valores da potencialidade de água superficial.

Tabela 3-12. – Potencialidades hídricas das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.

Sub-bacia	Área de drenagem (km ²)	Q _{média} (m ³ /s)	Q _{média} específica (m ³ /s.km ²)
Rio Guruji	41,22	0,706	0,017
Centro Norte	8,07	0,139	0,017
Rio Grau	60,77	1,071	0,18
Centro Sul	20,56	0,368	0,018
Sul	9,81	0,178	0,018
Pitimbu	9,15	0,196	0,021

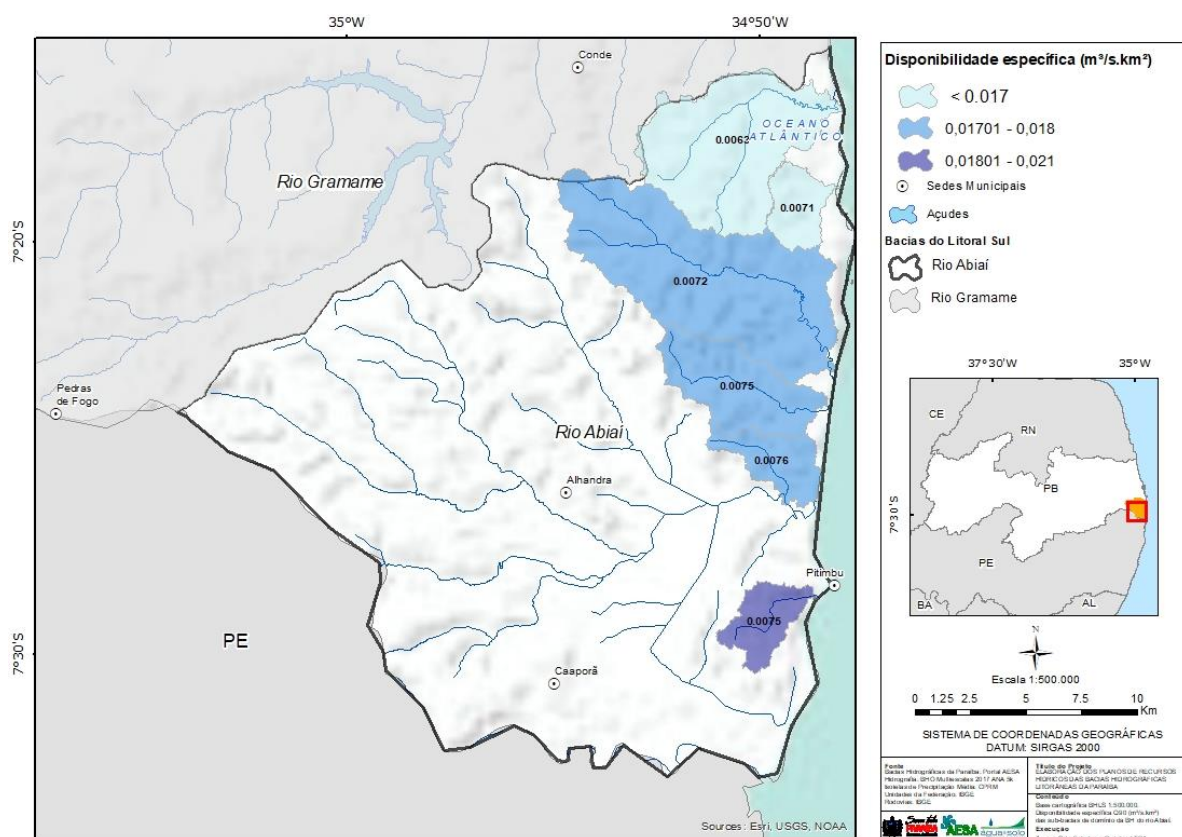


Figura 3-18. Potencialidade específica média (m³/s.km²) para cada uma das sub-bacias do domínio da UPH do rio Abiaí.

Fonte: Acervo próprio, 2022

3.3 Ocorrência de eventos extremos

As secas, estiagens, enxurradas e as inundações podem ser definidas como fenômenos extremos. Esses eventos se caracterizam por serem desvios de um estado climático médio e são de especial interesse, pois os mesmos podem vir a causar danos ao ambiente, à sociedade e à economia. De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), as secas e as estiagens são classificadas como desastres naturais de origem climatológica. Já as enxurradas e as inundações são desastres naturais de origem hidrológica.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais as estiagens estão relacionadas à redução das precipitações pluviométricas, ao atraso nos períodos chuvosos ou à ausência de chuvas previstas em que a perda de umidade do solo é superior a reposição (CASTRO, 2003). Já as secas podem ser definidas como estiagens mais prolongadas em que ocorre uma redução nas reservas hídricas existentes.

As enxurradas (ou inundações bruscas) podem ser definidas como eventos provocados por chuvas intensas, ficando concentradas em regiões que possuem relevo acidentado. Dessa forma, causam



um súbito aumento na vazão dos cursos de água que tendem a escoar de forma rápida e com elevada energia. As inundações (ou inundações graduais) podem ser classificadas como submersão de áreas que normalmente não se encontram submersas. Elas se diferem das enxurradas por ocorrerem de maneira gradual e por serem ocasionadas por chuvas prolongadas em zonas de planície (CASTRO, 2003). Todos esses fenômenos extremos além de interferirem no ciclo hidrológico, também impactam a sociedade e a economia causando diversos prejuízos.

A fim de analisar da ocorrência de eventos extremos nas BHLS, foi consultado o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, que possui registros de 1991 a 2012. Também foram realizadas pesquisas no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (Si2D), que é uma plataforma mantida pelo governo federal. Nessa plataforma, existem registros dos eventos ocorridos de 2003 a 2016. É válido ressaltar que para o desenvolvimento desse plano de bacia, foram considerados apenas os desastres relacionados secas, as estiagens, as enxurradas e as inundações, que são os eventos de maior ocorrência no estado da Paraíba (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2020).

Dessa forma, foram comparados os eventos registrados por essas duas bases de dados a fim de elaborar um compilado da ocorrência desses eventos extremos de forma a remover àqueles que constavam em ambas as bases de dados. De forma que, considerando o período compreendido entre 1991 a 2016, foram registrados um total de 42 eventos nos municípios das BHLS. Os desastres incluem enxurradas (24%), chuvas intensas (10%), inundações (31%) e estiagens e secas (36%). Entretanto, do total de desastres registrados, 11 são referentes ao município de São Miguel de Taipu, que possui apenas 0,4% de sua área inserida na bacia do rio Gramame.

Posto isso, observa-se que as BHLS sofrem mais com eventos relacionados ao excesso de água, tendo sido registrados mais eventos de inundações e enxurradas do que eventos de estiagens e secas.

A **Tabela 3-13** apresenta os eventos que foram registrados pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e pela plataforma Si2D por ordem cronológica e o município que foi atingido. Além disso, é válido destacar que essas bases de dados registram apenas os eventos de maior magnitude.

Tabela 3-13. Eventos extremos registrados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D nos municípios integrantes das BHLS.

Município	Evento	Data do Decreto
Cruz do Espírito Santo	Estiagens e secas	1993
Pedras de Fogo	Estiagens e secas	1993
Santa Rita	Estiagens e secas	1993



Município	Evento	Data do Decreto
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	1993
João Pessoa	Enxurradas	1994
Santa Rita	Enxurradas	1994
João Pessoa	Inundação	2000
Cruz do Espírito Santo	Estiagens e secas	2001
Caaporã	Estiagens e secas	2003
João Pessoa	Enxurradas	2004
Alhandra	Enxurradas	04/05/2004
Caaporã	Enxurradas	04/05/2004
Cruz do Espírito Santo	Enxurradas	22/07/2004
Pedras de Fogo	Chuvas intensas	24/03/2004
Pedras de Fogo	Inundações	14/07/2004
Pitimbu	Chuvas intensas	24/03/2004
Pitimbu	Enxurradas	14/07/2004
Santa Rita	Chuvas intensas	24/03/2004
Santa Rita	Enxurradas	14/07/2004
Caaporã	Enxurradas	29/07/2009
João Pessoa	Inundação	2011
Pedras de Fogo	Inundação	2011
Alhandra	Inundação	17/07/2011
Caaporã	Inundação	17/07/2011
Conde	Inundação	19/07/2011
Cruz do Espírito Santo	Inundação	17/07/2011
João Pessoa	Inundação	16/06/2011
João Pessoa	Inundação	20/07/2011
Santa Rita	Inundação	05/05/2011
Santa Rita	Inundação	17/07/2011
São Miguel de Taipu	Inundação	19/07/2011
Santa Rita	Enxurradas	04/07/2012
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	28/05/2012
João Pessoa	Chuvas intensas	04/09/2013
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	20/12/2012
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	23/05/2013
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	18/11/2013
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	14/05/2014
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	07/11/2014
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	08/05/2015
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	03/11/2015
São Miguel de Taipu	Estiagens e secas	05/10/2016

(*) Os eventos que possuem apenas o ano em que ocorreram são aqueles que estavam registrados apenas no Atlas.
Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D.

4 Qualidade das águas superficiais

4.1.1 Rede de monitoramento

A análise da qualidade das águas superficiais nas bacias do Litoral Sul contou com as informações disponibilizadas por três fontes de dados distintas: a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), a Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA) e a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A **Tabela 4.1** elenca as fontes de dados utilizadas para avaliação da qualidade das águas superficiais, os respectivos pontos monitorados divididos conforme o local (ambiente lântico e lótico), o número de amostras e os parâmetros analisados.

Tabela 4.1 - Pontos e parâmetros de monitoramento analisados pelas fontes de dados elencadas.

Fonte de Dados	Pontos de monitoramento	Número de amostras	Intervalo de datas	Parâmetros analisados
AESA	- 1 em reservatórios - 5 em rios TOTAL: 6	58	2018	Condutividade Elétrica, Temperatura da água, Temperatura do ar, Oxigênio dissolvido, pH, Turbidez.
			2019	Condutividade Elétrica, Fósforo total, Nitrato, Nitrogênio amoniacal, Ortofosfato dissolvido, Oxigênio dissolvido, pH, Temperatura da água, Temperatura do ar, Turbidez.
			2020	Alcalinidade total, Cloreto total, Clorofila a, Condutividade Elétrica, Fósforo total, IET, Nitrato, Nitrogênio amoniacal, Ortofosfato dissolvido, Oxigênio dissolvido, pH, Temperatura da água, Turbidez.
			2021	Alcalinidade total, Cloreto total, Clorofila a, Condutividade Elétrica, Escherichia coli, Fitoplâncton quantitativo, Fósforo total, Nitrato, Nitrogênio amoniacal, Ortofosfato dissolvido, Oxigênio dissolvido, pH, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos em suspensão totais, Temperatura da água, Temperatura do ar, Turbidez.
CAGEPA	- 6 em reservatórios - 2 em ETAs - 5 em rios TOTAL: 13	513	2007, 2014 - 2018	2,4-D + 2,4,5-T, Alaclor, Aldicarbe + Aldicarbessulfona + Aldicarbessulfóxido, Aldrin + Dieldrin Atrazina, Carbofentazim+Benomil, Carbofurano, Clordano (Cis + Trans), Clorpirifos+Clorpirifos oxon, DDT + DDD + DDE, Diuron, Endossulfan (a, β e Sais), Endrin, Glifosato + AMPA, Lindano (gama HCH), Mancozebe, Metamidofós, Metolacoloro, Molinato, Parationa Metilica, Pendimetalina, Permetrina, Profenofos, Simazina, Sulfato, Tebuconazol, Terbufos, Trifluralina.
SUDEMA	- 1 em reservatório - 32 em rios TOTAL: 33	2310	2006 - 2021	Coliformes fecais, Condutividade, Cor, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, pH Salinidade, Sólidos Dissolvidos Totais, Temperatura, Turbidez.

Conforme apresentado na tabela acima, apesar do número de amostras ser relativamente grande para as bacias do Litoral Sul, a região – bem como o estado da Paraíba como um todo – não dispõe de uma rede de monitoramento das águas superficiais consolidada e padronizada. A AESA (com atendimento ao Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água QUALIÁGUA de iniciativa da Agência Nacional de Águas) vem expandindo o número de parâmetros analisados. Os dados oriundos da Agência estão concentrados nos anos mais recentes (2018 a 2021).

A SUDEMA possui o maior número de amostras consideradas, com período relativamente abrangente de avaliação. Contudo, de acordo com os dados disponibilizados, o órgão realiza o monitoramento apenas em ambientes lóticos (rios e riachos). As análises da CAGEPA, por sua vez, não apresentam coordenadas geográficas para a maioria dos pontos de coleta, com dados não georreferenciados, sendo a localização relacionada apenas ao nome do curso d'água avaliado.

A rede de monitoramento existente nas BHLS é deficiente em termos de cobertura espacial, abrangência temporal e adoção de metodologias em comum ou padronização. Nas bacias em questão os pontos de análise encontram-se em sua grande maioria na região do baixo Gramame, com maior concentração na região próxima à foz da bacia. Há uma necessidade de concepção e operacionalização de uma rede de monitoramento das águas superficiais que seja bem distribuída espacialmente, georreferenciada e padronizada no Litoral Sul paraibano.

Além destes pontos, a quantidade de análises químicas realizadas é limitada. Parâmetros como fósforo e nitrogênio possuem poucas análises ou estas são parciais (como a monitoramento de nitrogênio amoniacal e nitrato, sem monitoramento conjunto do nitrito, ou a ausência de análises de nitrogênio total). Tais nutrientes são de especial relevância diante da problemática emergente de eutrofização dos corpos hídricos devido às ações antrópicas.

Da mesma forma, os parâmetros monitorados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, por sua vez, devem refletir o uso de agrotóxicos das culturas presentes nas BHLS. A agricultura possui grande influência na região, principalmente para os cultivos de cana-de-açúcar, abacaxi, caju, manga, tamarindo, mandioca, milho, urucum, castanha de caju, café, entre outros. Os parâmetros monitorados devem permear as principais substâncias utilizadas nesses cultivos.

A **Tabela 4.2** apresenta os pontos de monitoramento que foram avaliados, bem como o número de coletas realizado em cada ponto e o período das análises. Já a **Figura 4.1** apresenta a distribuição espacial dos pontos de amostragem nas BHLS. Destaca-se novamente que algumas das informações referentes às análises realizadas pela CAGEPA não possuíam o ponto exato onde as amostras foram coletadas.

Tabela 4.2 - Pontos de monitoramento de qualidade das águas das BHLS.

Responsável	Código da estação	Corpo hídrico	Lat.	Long.	Nº campanhas	Data 1ª campanha	Data última campanha
AESA-PB	39081150	Riacho Pitimbu	-7,488111	-34,817667	14	23/03/2018	12/5/2021
AESA-PB	39035000	Rio Goiana	-7,535028	-34,889309	16	27/09/2017	12/5/2021
AESA-PB	39081120	Rio Abiaí	-7,43797	-34,84809	14	23/03/2018	12/5/2021
AESA-PB	39084080	Rio Gramame	-7,28524	-34,96227	16	27/09/2017	13/05/2021
AESA-PB	39081072	Rio Gramame	-7,33298	-34,99385	14	16/03/2018	21/05/2021
AESA-PB	39081080	Rio Mamuaba	-7,279143	-35,04309	14	20/03/2018	21/05/2021
SUDEMA	BAR01	Rio Gramame	-7,291111	-34,96137	26	12/1/2006	13/11/2008
SUDEMA	AB01	Rio Abiaí	-7,430751	-34,867827	99	31/01/2006	9/11/2021
SUDEMA	AB02	Rio Abiaí	-7,432433	-34,837491	100	31/01/2006	9/11/2021
SUDEMA	AB03	Rio Abiaí	-7,434361	-34,836847	103	31/01/2006	9/11/2021
SUDEMA	BA00	Rio Boa Água	-7,239219	-34,879867	106	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	BA01	Rio Boa Água	-7,262587	-34,923704	108	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	Gal. Cagepa	Rio Gramame	-7,212139	-34,905361	2	26/08/2020	16/12/2020
SUDEMA	GI01	Rio Gurugí	-7,277218	-34,802118	106	10/1/2017	9/11/2021
SUDEMA	GR01	Rio Gramame	-7,218107	-34,917061	102	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GR02	Rio Gramame	-7,213278	-34,846472	14	25/08/2016	16/12/2020
SUDEMA	GR03	Rio Gramame	-7,211990	-34,907394	94	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GR04	Rio Gramame	-7,218384	-34,878722	92	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GR05	Rio Gramame	-7,229301	-34,862144	93	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GR06	Rio Gramame	-7,228401	-34,841172	92	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GR07	Rio Gramame	-7,237222	-34,805852	92	12/1/2006	16/12/2020
SUDEMA	GRN1	Rio Gramame	-7,247778	-34,807361	11	16/03/2017	23/10/2019
SUDEMA	GRN2	Rio Gramame	-7,236000	-34,843528	17	16/03/2017	16/12/2020

Responsável	Código da estação	Corpo hídrico	Lat.	Long.	Nº campanhas	Data 1ª campanha	Data última campanha
SUDEMA	GRN3	Rio Gramame	-7,213278	-34,913139	11	21/11/2017	27/08/2020
SUDEMA	GRN4	Rio Gramame	-7,247778	-34,807361	14	21/03/2017	27/08/2020
SUDEMA	GRN5	Rio Gramame	-7,216689	-34,915750	14	21/03/2017	27/08/2020
SUDEMA	GRN6	Rio Gramame	-7,212139	-34,905361	13	21/11/2017	27/08/2020
SUDEMA	GU01	Rio Graú	-7,387500	-34,803528	106	11/1/2006	9/11/2021
SUDEMA	MB01	Rio Mumbaba	-7,198609	-34,922673	109	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MB02	Rio Mumbaba	-7,208203	-34,909324	108	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MB03	Rio Mumbaba	-7,211980	-34,907756	109	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MS00	Riacho Mussuré	-7,186090	-34,902433	108	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MS01	Riacho Mussuré	-7,186186	-34,903456	108	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MS01A	Riacho Mussuré	-7,187210	-34,907109	95	12/1/2006	14/08/2018
SUDEMA	MS02	Riacho Mussuré	-7,197101	-34,913587	107	12/1/2006	17/11/2021
SUDEMA	MS03	Riacho Mussuré	-7,200357	-34,919729	109	12/1/2006	17/11/2021
CAGEPA	-	Açude Gramame Mamuaba	-7,228401	-34,841172	2	31/05/2016	15/12/2017

Fonte: AESA, CAGEPA e SUDEMA

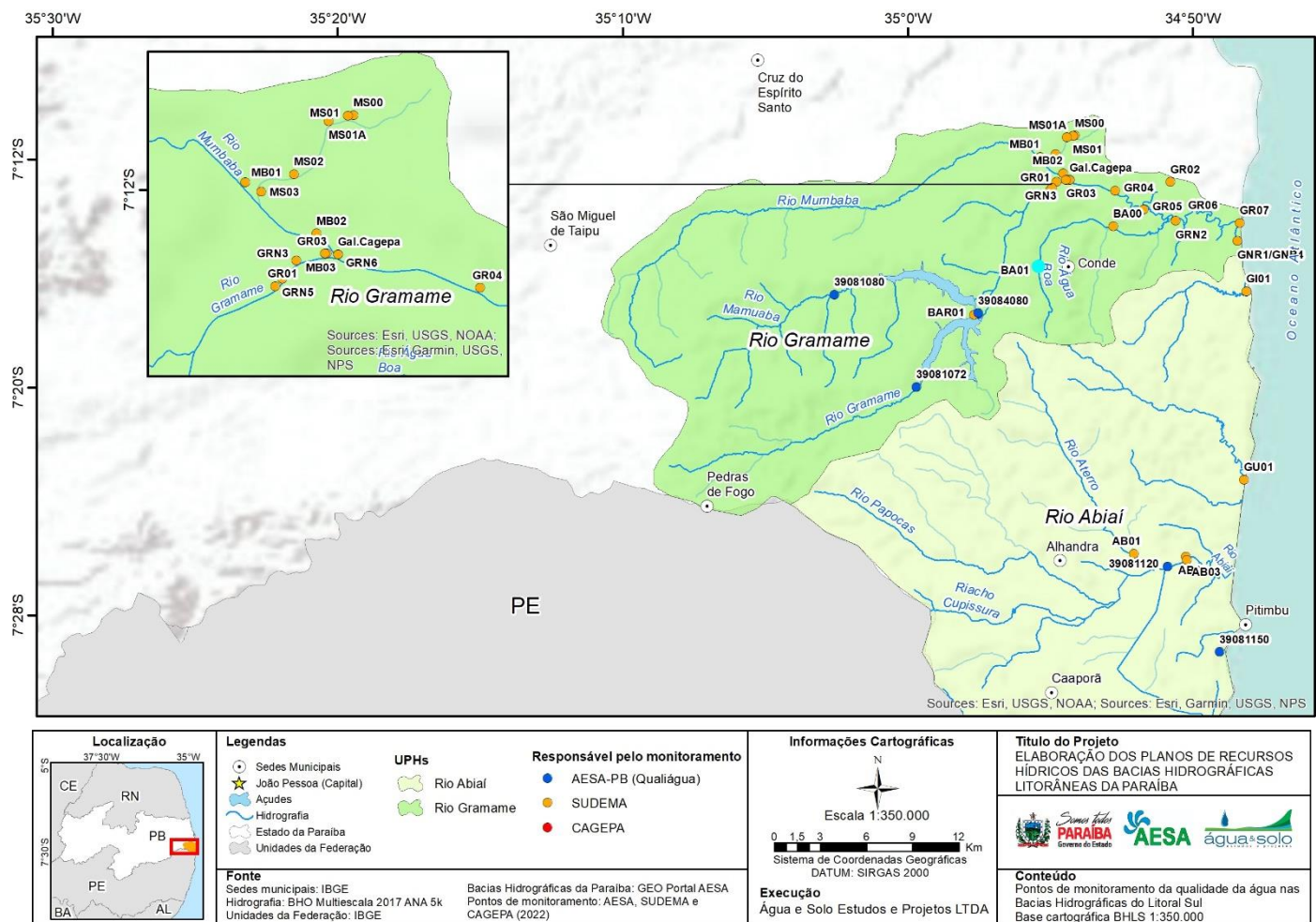


Figura 4.1 - Pontos de monitoramento da qualidade da água nas BHLS.
 Fonte: Acervo próprio, 2022

4.1.2 Índice de Qualidade das Águas (IQA)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) possui como objetivo fornecer um resultado que possibilite avaliar a qualidade da água bruta para abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Devido a isso, a utilização do índice em outros contextos de avaliações possui limitações.

No Brasil, o IQA foi adaptado e desenvolvido primeiramente pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em 1975, a partir de um estudo realizado em 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos. Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram este mesmo IQA, que hoje é o principal indicador de qualidade da água utilizado no Brasil (ANA, 2020). O IQA CETESB é composto por nove parâmetros com seus respectivos pesos, que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água. O índice é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice conforme a **Equação 1** abaixo.

Equação 1

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Os pesos adotados podem ser distintos conforme a referência bibliográfica considerada. Para a Agência Nacional de Águas (2012), tais parâmetros e seus respectivos pesos são: Oxigênio Dissolvido (0,17); Coliformes Termotolerantes (0,15); pH (0,12); Demanda Bioquímica de Oxigênio (0,10); Temperatura da Água (0,10); Nitrogênio Total (0,10); Fósforo Total (0,10); Turbidez (0,08); e Resíduo Total (0,08). A partir do resultado obtido por meio do produto ponderado dos parâmetros, os valores são classificados em faixas de qualidade que adotam a seguinte distribuição: 79-100 (ótima), 51-79 (boa), 36-51 (razoável), 19-36 (ruim), 0-19 (péssima).

Os dados de qualidade das águas superficiais conforme as três fontes disponíveis no estado da Paraíba - CAGEPA, SUDEMA e AESA – são insuficientes para o cálculo do Índice de Qualidade das Águas nas bacias no Litoral Sul. Para as fontes de dados elencadas não há monitoramento de todos os parâmetros necessários para o cálculo do índice e há uma dificuldade em integrar os resultados dos distintos bancos de dados haja em vista que os pontos se diferem substancialmente em sua localização. Para os dados da AESA, referentes aos do programa QUALIÁGUA, por exemplo, apesar de existirem dados de monitoramento para os parâmetros oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*, temperatura, pH, fósforo, turbidez e sólidos totais não há registros de DBO e nitrogênio total. Até o ano de 2022, a Rede Nacional de Qualidade da Água não contava com nenhuma estação de monitoramento das águas superficiais nas bacias do Litoral Sul.

Por outro lado, o Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba (2019) elencou as águas na bacia do Gramame com qualidade boa (IQA médio de 70,23) para o período entre 2007 e 2017. A bacia registrou valores mínimo e máximo de IQA CETESB respectivamente iguais a 54 (boa) e 81 (ótima). O índice não foi calculado para a bacia do rio Abiaí. Em geral, para as BHs/SBHs analisadas no estado da Paraíba, todas as bacias apresentaram médias de IQA correspondentes à qualidade boa. Apesar disso, vale ressaltar que a qualidade das águas superficiais é variável, dependente de fatores como sazonalidade e efeito de fontes poluidoras difusas e pontuais que provocam características físico-químicas distintas entre os corpos hídricos de uma mesma localidade.

4.1.3 Índice de Estado Trófico (IET)

A eutrofização é o crescimento excessivo de plantas aquáticas a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (THOMANN & MUELLER, 1987). A principal causa da ocorrência da eutrofização é o nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo. Os principais impactos à qualidade da água associados com a eutrofização são: a presença de algas nocivas, o crescimento excessivo de macrófitas e conseqüente perda de transparência e o baixo nível de oxigênio dissolvido diante da produção excessiva de matéria orgânica.

O Índice do Estado Trófico (IET) busca classificar o nível de eutrofização da água, ou seja, avalia sua qualidade quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao

crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. No presente projeto, o índice foi determinado a partir dos dados de concentração de fósforo total, em $\mu\text{g/L}$, de reservatórios e rios monitorados pela AESA no período de 2019 a 2021. Os reservatórios considerados e seus respectivos municípios são os açudes Araçagi (Itapororoca), Nova Camará (Alagoa Nova) e Saulo Maia (Areia). Para o cálculo do IET foi utilizada a metodologia proposta por Lamparelli (2004), sendo estabelecida para ambientes lênticos e lóticos pela **Equação 2** a seguir.

Equação 2

Ambientes lênticos – reservatórios

$$IET (PT) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \right)$$

Ambientes lóticos – rios e riachos

$$IET (PT) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \right) - 20$$

Em que:

PT = concentração de fósforo total expresso em $\mu\text{g/L}$.

Os valores do IET são classificados segundo classes de estado trófico, apresentadas **Tabela 4.3**, juntamente com suas características.

Tabela 4.3 - Classe de estado trófico e suas características principais.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
$IET > 67$	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: CETESB (2007); LAMPARELLI (2004).

A **Tabela 4.4** apresenta a média do IET por estação de monitoramento da AESA de acordo com o ano de análise e a estação climática (Chuva, Seca ou Não Informada). As médias dos índices para os reservatórios apontaram características de meio mesotrófico a eutrófico, indicativos de corpos d'água com produtividade intermediária e alta em relação às condições normais. O rio Gramame foi classificado como eutrófico na altura do município de Pedras de Fogo, assim como o Rio Goiana. Os rios Mamuaba e Abiaí possuem características de corpos d'água mesotrófico. O Riacho Pitimbu possui características de corpo d'água limpo, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.

Tabela 4.4 - Índice de Estado Trófico para os pontos de monitoramento da AESA, conforme ano e estação climática.

Código da Estação	Corpo d'água	2019	2020	2021	Média Geral
AMBIENTES LÊNTICOS					
39084080	Açude Gramame - Mamoaba	64,61	54,75	49,83	56,99
AMBIENTES LÓTICOS					
39035000	Rio Goiana	65,11	58,99	61,02	61,77
39081072	Rio Gramame - Pedras de Fogo	63,62	58,36	55,54	59,50
39081080	Rio Mamuaba	58,39	50,16	48,88	52,80
39081120	Rio Abiaí - Pitimbu	61,55	50,31	49,96	54,30
39081150	Riacho Pitimbu	56,44	45,59	48,77	50,40
	Ultraoligotrófico				
	Oligotrófico				
	Mesotrófico				
	Eutrófico				
	Supereutrófico				

O Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (2019), elenca a partir de dados provenientes da SUDEMA, no período de 2006 a 2017 os seguintes valores de IET para a bacia do rio Gramame: 66,87 (média), 56,82 (mínimo), 94,77 (máximo) e 58,27 (variância). A bacia apresentou a maior variância entre aquelas analisadas. Os valores encontrados apresentam características de meio supereutrófico, ou seja, com elevada carga de nutrientes. De forma geral, as águas superficiais monitoradas do estado da Paraíba apresentam condições hipereutróficas (57%) e supereutróficas (42%).

4.1.4 Classificação dos corpos d'água

A classificação dos corpos d'água das BHLs, a fim de determinar seus possíveis usos, foi realizada por meio da Resolução CONAMA nº 357/2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Desta forma, foi possível classificar os corpos de água de acordo com sua salinidade, dividindo-os em águas doces, salobras ou salinas, sendo que, para cada uma dessas classificações, há um conjunto de parâmetros que definirá seu enquadramento. Os usos permitidos para as águas doces e águas salobras estão apresentados nas **Figura 4.2** e **Figura 4.3**, respectivamente.












Usos das águas doces		Especial	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Mandatório em UCs de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Mandatório em terras indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas inseridas com película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esportes	Culturas arbóreas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Figura 4.2 - Usos das águas doces permitidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.









Usos das águas salobras		Especial	1	2	3
Preservação do equilíbrio natural das comunidades e dos ambientes aquáticos		Mandatário em UCs de Proteção Integral			
Proteção das comunidades aquáticas					
Abastecimento para consumo humano			Após tratamento convencional ou avançado		
Irrigação			Hortaliças		
Recreação			Contato primário	Contato secundário	
Aquicultura e pesca				Pesca	
Navegação					
Harmonia paisagística					

Figura 4.3 - Usos das águas salobras permitidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Como base para a determinação da qualidade das águas das BHLS foram utilizados os dados provenientes das estações de monitoramento da qualidade da água da SUDEMA e AESA – elencadas anteriormente em **Rede de monitoramento**. Os valores dos parâmetros para cada um dos pontos de amostragem e em cada uma das amostras foram comparados com os padrões de qualidade da água presentes na Resolução CONAMA N° 357/2005 com a diferenciação entre águas doces, salobras e salinas. Os parâmetros utilizados para a classificação com base no disposto na Resolução foram: coliformes fecais (org/100mL) ou *Escherichia coli* (org/100mL), Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Fósforo total (mg/L), Nitrogênio amoniacal (mg/L), Oxigênio Dissolvido (mg/L) e Turbidez (NTU). A análise foi realizada de forma separada para o período seco (sem chuvas recorrentes) relativos aos meses de agosto a janeiro e período chuvoso. Nas **Tabela 4.5** e **Tabela 4.6**, respectivamente para os período seco e chuvoso, estão apresentados a frequência de cada classe para os parâmetros elencados referente em cada agrupamento de estações com disponibilidade de dados. Os agrupamentos das estações foram feitos conforme a proximidade destes pontos e o trecho de rio ou açude analisado.

Tabela 4.5 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período **CHUVOSO**.

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
CF (org/100mL) / E.coli (org/100mL)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	33%	33%	33%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	28%	22%	19%	0%	30%
	39081150	Riacho Pitumbu	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	87%	11%	2%	0%	0%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	55%	41%	5%	0%	0%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	42%	34%	16%	0%	8%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	44%	36%	17%	0%	3%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	67%	0%	33%	0%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	67%	33%	0%	0%	0%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	0%	17%	67%	0%	17%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	23%	47%	26%	0%	5%
	GR07	Rio Gramame	Águas Salinas	90%	5%	0%	0%	5%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	0%	56%	31%	0%	13%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	43%	45%	8%	0%	4%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	67%	17%	17%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	23%	46%	20%	0%	11%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	12%	37%	31%	0%	20%
	GU01	Rio Graú	Águas Salobras	90%	8%	0%	0%	2%
	GI01	Rio Gurugí	Águas Salobras	60%	33%	6%	0%	0%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	50%	50%	0%	0%	0%
MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	25%	37%	20%	0%	18%	
MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	10%	36%	36%	0%	18%	
DBO (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	89%	11%	0%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	79%	15%	3%	0%	3%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	93%	2%	5%	0%	0%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	83%	15%	0%	0%	2%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	87%	8%	5%	0%	0%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	83%	0%	17%	0%	0%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	79%	21%	0%	0%	0%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	96%	4%	0%	0%	0%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	83%	17%	0%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	85%	11%	4%	0%	0%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	69%	21%	9%	0%	1%

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	96%	2%	2%	0%	0%
	MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	85%	10%	4%	0%	0%
Fósforo total (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	25%	25%	0%	0%	50%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	80%	0%	0%	0%	20%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	71%	0%	0%	0%	29%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	0%	0%	57%	0%	43%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	0%	0%	57%	0%	43%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	0%	0%	67%	0%	33%
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
OD (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	75%	19%	0%	6%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	10%	6%	10%	26%	47%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	14%	14%	57%	0%	14%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	10%	19%	35%	0%	35%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	9%	2%	4%	37%	48%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	10%	2%	0%	22%	67%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	8%	3%	2%	36%	51%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	22%	22%	33%	22%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	56%	11%	0%	33%	0%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	33%	50%	0%	0%	17%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	5%	11%	27%	43%	14%
	GR07	Rio Gramame	Águas Salinas	67%	21%	9%	0%	2%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	50%	19%	19%	13%	0%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	24%	2%	11%	31%	31%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	46%	26%	21%	4%	4%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	29%	15%	27%	25%	4%
	GU01	Rio Graú	Águas Salobras	64%	22%	14%	0%	0%
	GI01	Rio Gurugí	Águas Salobras	51%	35%	10%	0%	4%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	38%	13%	25%	13%	13%
MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	27%	21%	10%	4%	38%	

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	17%	13%	30%	40%	0%
Turbidez (NTU)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	79%	0%	13%	0%	8%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	88%	0%	5%	0%	7%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	85%	0%	10%	0%	4%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	81%	0%	14%	0%	5%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	56%	0%	44%	0%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	67%	0%	22%	0%	11%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	67%	0%	17%	0%	17%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	83%	0%	15%	0%	3%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	75%	0%	13%	0%	13%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	84%	0%	12%	0%	4%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	83%	0%	17%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	66%	0%	30%	0%	4%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	64%	0%	27%	0%	8%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	88%	0%	13%	0%	0%
	MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	71%	0%	23%	0%	6%
	MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	67%	0%	24%	0%	8%

Tabela 4.6 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período **SECO**.

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
CF (org/100mL) / E.coli (org/100mL)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	38%	63%	0%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	37%	30%	11%	0%	23%
	39081150	Riacho Pitimbu	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	93%	7%	0%	0%	0%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	65%	33%	0%	0%	2%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	57%	30%	9%	0%	4%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	43%	35%	12%	0%	11%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	0%	100%	0%	0%	0%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	0%	63%	25%	0%	13%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	22%	43%	22%	0%	13%
	GR07	Rio Gramame	Águas Salinas	93%	4%	0%	0%	2%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	22%	33%	33%	0%	11%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	53%	38%	6%	0%	4%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	20%	80%	0%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	35%	42%	19%	0%	4%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	22%	41%	25%	0%	13%
	GU01	Rio Graú	Águas Salobras	98%	2%	0%	0%	0%
	GI01	Rio Gurugí	Águas Salobras	89%	5%	4%	0%	2%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	32%	42%	12%	0%	14%	
MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	20%	37%	30%	0%	13%	
DBO (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	93%	7%	0%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	69%	22%	9%	0%	0%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	96%	4%	0%	0%	0%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	80%	18%	0%	0%	2%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	82%	16%	1%	0%	1%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	75%	25%	0%	0%	0%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	77%	21%	2%	0%	0%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	89%	7%	0%	0%	4%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	86%	5%	7%	0%	2%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	64%	21%	14%	0%	0%

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	80%	14%	4%	0%	2%
	MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	60%	30%	9%	0%	0%
Fósforo total (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	80%	0%	0%	0%	20%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	0%	40%	0%	0%	60%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	0%	60%	0%	0%	40%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	0%	83%	0%	0%	17%
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
OD (mg/L)	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	11%	2%	11%	28%	49%
	39081150	Richo Pitimbu	Águas Salobras	57%	14%	0%	0%	29%
	39081120/AB03/AB02	Rio Abiai	Águas Salobras	21%	42%	25%	0%	12%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	11%	4%	11%	55%	19%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	18%	2%	0%	35%	45%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	10%	4%	5%	42%	39%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	57%	0%	29%	14%	0%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	29%	14%	29%	14%	14%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	63%	38%	0%	0%	0%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	13%	6%	13%	54%	15%
	GR07	Rio Gramame	Águas Salinas	81%	8%	4%	0%	6%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	33%	44%	0%	22%	0%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	20%	6%	6%	50%	19%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	49%	25%	14%	8%	3%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	33%	18%	23%	21%	4%
	GU01	Rio Graú	Águas Salobras	64%	27%	5%	0%	4%
	GI01	Rio Gurugí	Águas Salobras	53%	31%	11%	0%	5%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	75%	13%	0%	13%	0%
MB01/MS03	Rio Mumbaba	Águas Doces	41%	9%	4%	4%	42%	

PARÂMETRO	ESTAÇÃO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
Turbidez (NTU)	MB02	Rio Mumbaba	Águas Doces	22%	22%	24%	29%	4%
	39084080/BAR01	Barragem de Gramame	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	AB01	Rio Abiai	Águas Doces	88%	0%	8%	0%	4%
	BA01	Rio Boa Água	Águas Doces	89%	0%	7%	0%	4%
	GR05/BA00	Rio Boa Água	Águas Doces	92%	0%	8%	0%	0%
	39035000	Rio Goiana	Águas Doces	71%	0%	14%	0%	14%
	39081072	Rio Gramame	Águas Doces	86%	0%	14%	0%	0%
	GR02	Rio Gramame	Águas Doces	63%	0%	38%	0%	0%
	GR04	Rio Gramame	Águas Doces	94%	0%	6%	0%	0%
	GRN1/GRN4	Rio Gramame	Águas Doces	67%	0%	33%	0%	0%
	GRN2/GR06	Rio Gramame	Águas Doces	89%	0%	7%	0%	4%
	GRN3	Rio Gramame	Águas Doces	60%	0%	40%	0%	0%
	GRN5/GR01	Rio Gramame	Águas Doces	79%	0%	19%	0%	2%
	GRN6/Cagepa/MB03/GR03	Rio Gramame	Águas Doces	78%	0%	19%	0%	3%
	39081080	Rio Mamuaba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MB01/MS03	Rio Mamuaba	Águas Doces	86%	0%	11%	0%	4%
MB02	Rio Mamuaba	Águas Doces	89%	0%	9%	0%	2%	
MS01A/MS01/MS00/MS02	Riacho Mussuré	Águas Doces	86%	0%	3%	0%	11%	



Quando avaliado de forma comparativa o resultado do enquadramento considerando o período chuvoso e seco, é possível notar que no geral a distribuição entre as classes I, II, III e IV é relativamente semelhante. No período chuvoso, no entanto, há uma maior quantidade de valores de concentrações que ficaram fora dos limites estabelecidos na Resolução (acima do estabelecido na Resolução na maioria dos casos). Em uma avaliação geral, os parâmetros coliformes fecais, fósforo total, OD e turbidez apresentaram uma frequência menor de resultados na Classe I no período chuvoso em comparação ao seco. Esta relação é inversa apenas para a DBO. O nitrogênio amoniacal manteve-se em 100% das amostras enquadradas em Classe I tanto no período seco quanto chuvoso.

Em relação aos pontos de monitoramento, as estações que apresentaram maior recorrência de parâmetros na Classe I foram as de código de identificação 39081150, GR07 e GU01, localizadas respectivamente no Rio Pitimbu, Rio Gramame e Rio Graú. De acordo com a porcentagem de salinidade destas estações as águas nestes segmentos de rio podem ser consideradas: salobras (39081150 e GU01) e salinas (GR07). Para a estação 39081150 apesar desta possuir aproximadamente 100% das amostras de coliformes, fósforo e nitrogênio amoniacal na Classe I, 29% (período seco) e 14% (chuvoso) das avaliações ficaram acima dos limites atribuídos às classes para OD.

Em relação às piores qualidades da água, ou seja, aquelas estações com maiores frequências na Classe IV, estão MB02 no Rio Mumbaba e conjunto de estações no encontro dos rios Mumbaba e Gramame (pontos GRN6/Cagepa/MB03/GR03). Para estes pontos, os parâmetros turbidez e DBO se mostram os mais restritivos.

Os valores acima discutidos e elencados nas **Tabela 4.5** e **Tabela 4.6** são sintetizados na forma de seis mapas, um para cada parâmetro avaliado, apresentados no **Anexo I- Mapas de frequência de classes da qualidade da água nas BHLS**. Nos mapas, foram associados gráficos de pizza para cada estação exibindo a distribuição de recorrência das classes para este ponto de monitoramento.

As campanhas de análise de qualidade das águas realizadas pela CAGEPA analisaram a presença de compostos orgânicos nas águas da barragem Gramame-Mamuaba. Os compostos que foram analisados e que estão citados na Resolução CONAMA nº 357/2005 são os que seguem: 2,4-D + 2,4,5-T, Aldrin + Dieldrin, Atrazina, DDT + DDD + DDE, Endrin, Glifosato + AMPA, Simazina, Trifluralina, Alacloro, Clordano (Cis + Trans), Endossulfan (α, β e Sais),



Lindano (gama HCH), Metolacloro, Parationa Metílica, Sulfato, Heptacloro Epoxido, Hexaclorobenzeno, Metoxicloro e Pentaclorofenol.

Os resultados relativos às análises realizadas pelas duas campanhas de amostragem da CAGEPA apresentaram valores abaixo dos limites de quantificação dos métodos utilizados para a análise dos compostos avaliados. À exceção foi o sulfato que foi detectado em uma das campanhas de amostragem com uma concentração de 3,56 mg/L, valor que se encontra abaixo do limite permitido para enquadrar o curso de água como sendo de Classe 1.

É importante ressaltar que o limite de quantificação dos métodos que foram utilizados para avaliar os parâmetros Paration (LQ = 0,05 µg/L), Heptacloro (0,015 µg/L), Heptacloro epoxido (LQ = 0,005 µg/L) e Pentaclorofenol (0,02 µg/L) são superiores aos limites estabelecidos na Resolução n° 357/05 para enquadrar o curso de água como sendo de Classe 1, ao considerar os valores limites apresentados pela “*Tabela II – Classe I – Águas Doces*”. Isso quer dizer que, apesar do resultado do ensaio ser “menor que o limite de quantificação do método”, não necessariamente o curso de água vai estar enquadrado na Classe 1. Entretanto, para fins de simplificação, foi considerado que esse ponto de amostragem pode ser enquadrado na Classe 1, já que os valores de todos os outros parâmetros ficaram dentro dos limites máximos estabelecidos pela Resolução n° 357/05.

Visando fornecer subsídios ao balanço hídrico qualitativo e se alinhar à metodologia adotada para a avaliação da disponibilidade hídrica nas BHLS, também foram atribuídas classes para cada sub-bacia proposta no Estudo Hidrológico. A divisão em sub-bacias parte da suposição - para efeito de simplificação - que a partir das concentrações registradas nas estações de monitoramento, os cursos d’águas contidos na mesma sub-bacia possuem uma mesma Classe de enquadramento. A **Tabela 4.7** apresenta a classe atribuída a cada sub-bacia com base no parâmetro que apresentou a pior classe ao avaliar os dados apresentados anteriormente.

Cabe salientar que para as sub-bacias onde não foram verificados pontos de monitoramento, nenhuma Classe foi atribuída. Além disso, é importante destacar que essa informação não representa uma proposta de enquadramento dos corpos d’água para as BHLS, pois, são várias as sub-bacias em que não há a presença de nenhum ponto de amostragem de qualidade da água e poucas campanhas foram realizadas. Isso demonstra a falta de abrangência geográfica e temporal dos dados de qualidade da água para as BHLS. Por esse motivo, os dados apresentados nas **Tabela 4.5**, **Tabela 4.6** e **Tabela 4.7** devem ser utilizados apenas como uma síntese da

qualidade atual das águas nas BHLS, servindo como subsídio para uma futura proposta de enquadramento.

Tabela 4.7 - Classes das sub-bacias das BHLS

UPH	Sub-bacia	Local	Classe	Ponto de amostragem	Parâmetro com pior classe
Rio Gramame	SBGr1	Alto Gramame	4	39081072	Fósforo Total
	SBGr2	Rio Mamuaba	1	39081080	
	SBGr3	Rio Mumbaba	4	MB03	CF
	SBGr4	Médio Gramame	4	GRN5	CF
	SBGr5	Riacho Ipiranga	4	BA00	Oxigênio Dissolvido
	SBGr6	Baixo Gramame	4	GR05	Sólidos Dissolvidos Totais, Oxigênio Dissolvido e CF
	SBGr7	Foz Gramame	4	GRN4	CF
Rio Abiaí UPH da BH do Abiaí	SBAb3	Aterro	4	AB01	Oxigênio Dissolvido
	SBAb8	Baixo Abiaí	4	39081120	Sólidos Dissolvidos Totais; Cloretos
	SBPitumbu	-	2	39081150	Oxigênio Dissolvido
	SBGrau	-	2	GU01	CF
	SBNorte	-	2	GI01	CF

A falta de dados de monitoramento da qualidade água principalmente na região da bacia do Abiaí compromete a avaliação do quadro atual das BHLS por completo. A ausência de um levantamento de dados contínuo é especialmente mais notável para o Abiaí, com a falta de informações nas seguintes sub-bacias: SBAb1 e SBAb4 (Cupissura), SBAb2 (Papocas), SBAb5 (Alhandra), SBAb6 (Caaporã) e SBAb7 (Médio Abiaí).

Nos próximos parágrafos do texto estão apresentados alguns pontos relevantes sobre as classes de enquadramento apresentadas pelas estações de monitoramento e pelas sub-bacias. A **Figura 4.4** relaciona a classe determinada por meio do ponto de amostragem e com o cadastro de outorgas da AESA-PB (**Tabela 4.8**). É válido ressaltar que foram considerados apenas os cadastros de outorgas vigentes no período em que o presente estudo foi desenvolvido.

Primeiramente, com relação às sub-bacias do Abiaí, percebe-se a falta de pontos de amostragem de qualidade da água, já que seis das oito sub-bacias não foram classificadas devido à falta de



dados. A SBA_{b3} e a SBA_{b5} ficaram enquadradas como Classe 4 de acordo com os dados provenientes do monitoramento, sendo que os parâmetros que apresentaram pior classificação foram, respectivamente, oxigênio dissolvido (SBA_{b3}) e os sólidos suspensos totais e o cloreto (SBA_{b5}). Essas sub-bacias apresentam como principais fontes de poluição as atividades industriais de transformação e de extração e beneficiamento. Com relação ao cadastro de outorgas nessa bacia, a maior parte deles se refere às atividades de irrigação. De acordo com o enquadramento de 1988, as cabeceiras dos rios da bacia hidrográfica do Abiaí estavam classificadas como Classe 1 e as regiões intermediárias até a foz como Classe 2.

Com relação às sub-bacias do Gramame, seis sub-bacias foram classificadas como Classe 4, sendo que o pior parâmetro em quatro das sub-bacias foram os coliformes fecais. A maior parte das fontes de poluição dessa bacia estão localizadas nas sub-bacias SBGr₃, SBGr₄ e SBGr₅ e são referentes a atividades industriais de transformação, ao transporte, tratamento e disposição de resíduos e a serviços agropecuários. Novamente, a maior parte dos cadastros de outorga é referente às atividades de irrigação, mas há um número considerável de outorgas relacionadas ao lançamento de efluentes, estando cadastrados na área das sub-bacias SBGr₁, SBGr₃ e SBGr₅. Assim como na bacia do Abiaí, as cabeceiras dos rios do Gramame estão classificadas como Classe 1 no enquadramento de 1988 e seu trecho intermediário como Classe 2. Apenas próximo à foz que o rio foi classificado como Classe 3 de acordo com a resolução de 1988.

Através das análises realizadas foi percebido que as UPHs da bacia hidrográfica do Abiaí possuem poucos cadastros de outorga e poucas fontes de poluição, sendo que todas elas foram classificadas como Classe 2.

Por fim, é válido destacar que as BHLS são caracterizadas por possuírem fontes difusas de poluição que podem interferir na qualidade de água dos rios dessas bacias hidrográficas. Essas fontes de poluição são mais difíceis de serem controladas por não terem um ponto específico para o lançamento dos efluentes. No caso das BHLS as fontes de poluição difusa são referentes principalmente às atividades relacionadas à agricultura/irrigação em que há a presença de agrotóxicos. Alguns desses compostos são monitorados nos pontos de amostragem de qualidade da água, mas, pelo clima quente e pela alta incidência solar na Paraíba, muitos desses compostos podem sofrer transformações químicas e acabar tornando-se um metabólito mais tóxico que o original. Para esses compostos que sofreram degradação, muitas vezes não há legislação específica para determinar os limiares de qualidade da água.



Tabela 4.8. Número total de fontes de poluição e cadastro de outorgas em cada sub-bacia.

Sub-bacia	Área (km ²)	Nº de fontes de poluição	Nº de cadastros de outorgas	Nº fontes de poluição/Área	Nº cadastros de outorga/Área	Classe
SBAb1	99,86	1	0	0,010	0,000	2
SBAb2	117,68	73	13	0,620	0,110	2
SBAb3	87,745	10	20	0,114	0,228	4
SBAb4	45,421	26	7	0,572	0,154	2
SBAb5	21,559	18	9	0,835	0,417	2
SBAb6	55,551	47	7	0,846	0,126	2
SBAb7	8,948	4	4	0,447	0,447	2
SBAb8	19,01	1	0	0,053	0,000	4
SBGr1	124,49	32	24	0,257	0,193	4
SBGr2	128,19	36	10	0,281	0,078	1
SBGr3	168,61	112	21	0,664	0,125	4
SBGr4	43,7	48	8	1,098	0,183	4
SBGr5	73,01	47	15	0,644	0,205	4
SBGr6	22,19	2	2	0,090	0,090	4
SBGr7	11,47	2	1	0,174	0,087	4
SBPitumbu	9,15	0	4	0,000	0,437	2
SBSul	9,81	0	1	0,000	0,102	2
SBCentro Sul	20,56	1	2	0,049	0,097	2
SBGrau	60,77	5	25	0,082	0,411	2
SBCentro Norte	8,07	0	0	0,000	0,000	2
SBNorte	41,22	3	26	0,073	0,631	3

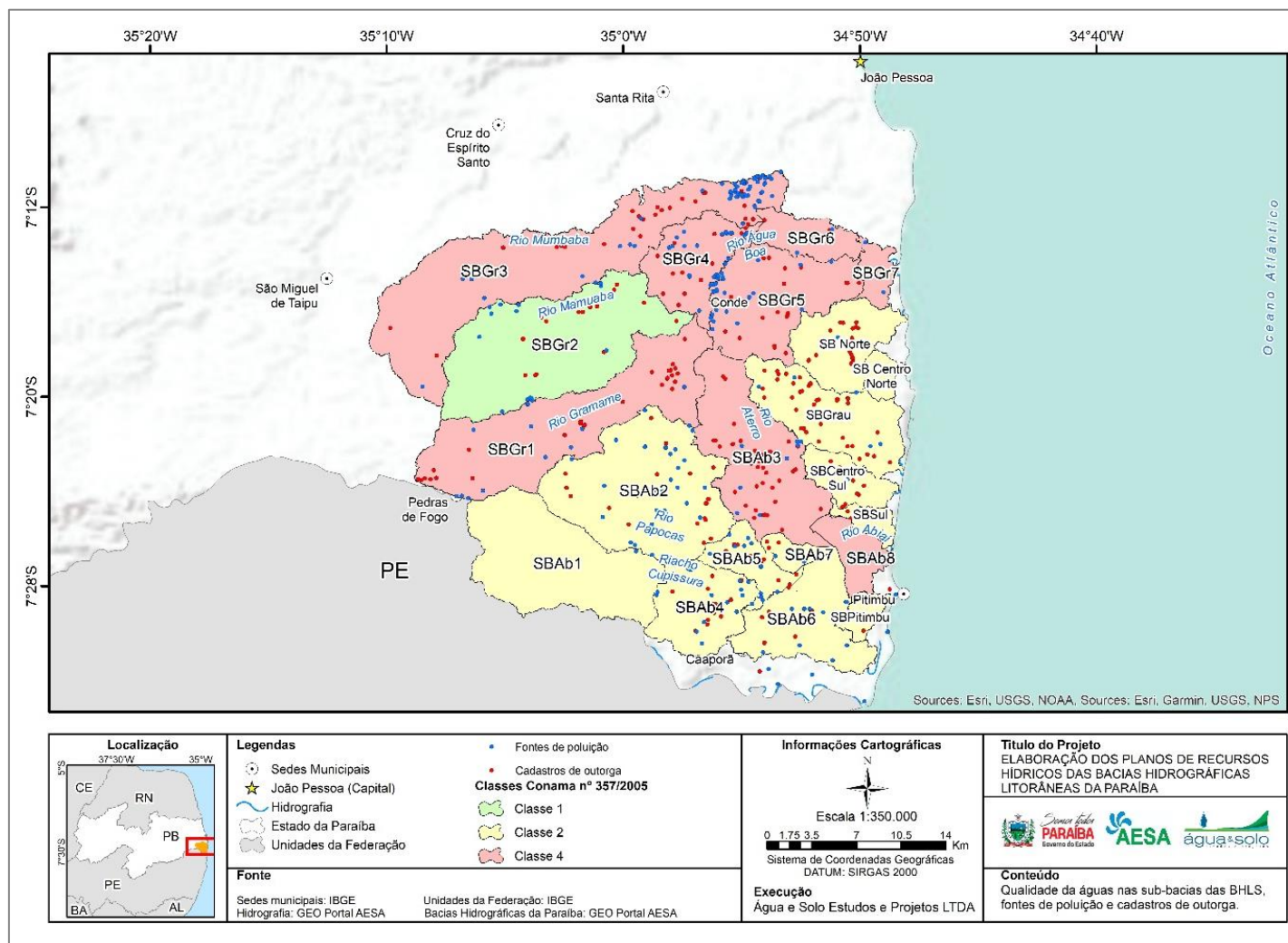


Figura 4.4. Qualidade da água das sub-bacias do Litoral Sul, cadastros de outorga da AESA-PB e fontes de poluição.
 Fonte: Acervo próprio, 2022

É válido ressaltar a necessidade de realizar um novo enquadramento para os cursos de água das BHLS haja vista que o único enquadramento existente foi realizado em 1988 e está descrito pela Resolução COPAM n° 11/88. Além disso, sugere-se que seja analisada a salinidade da água nos pontos de amostragem visto a proximidade das BHLS com o Oceano Atlântico e devido ao fato de que o conhecimento da salinidade é indispensável para realizar o enquadramento dos corpos de água.

Por fim, reforça-se a necessidade de um monitoramento contínuo e que contemple especialmente a maioria das sub-bacias de interesse. Além disso, destaca-se a necessidade de recorrente atualização dos cadastros de outorgas e fontes poluidoras. A partir de um monitoramento mais robusto e a identificação de potenciais fontes poluidoras a gestão e controle dos aspectos relacionados a qualidade de água podem ser mais assertivos.

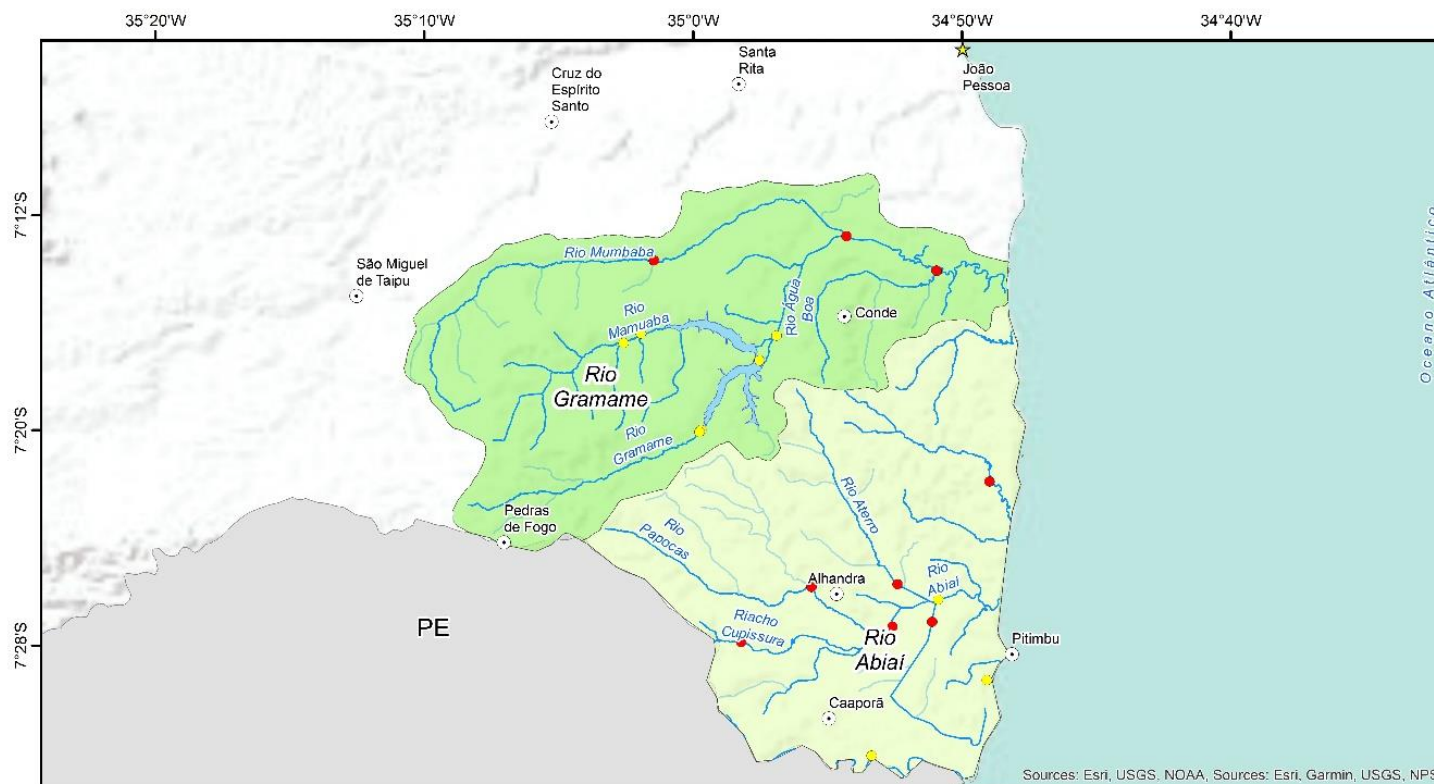
5 Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico

A respeito da rede hidrometeorológica existente nas BHLS, percebe-se que a principal deficiência é relativa às séries históricas de vazão. A falta de dados disponíveis impede que sejam determinadas com maior assertividade as vazões de referência para as bacias hidrográficas do Litoral Sul. Das nove estações fluviométricas instaladas na área das bacias dos rios Gramame e Abiaí, nenhuma delas possui informações referentes à vazão. Essa falta de dados impossibilitou realizar uma calibração mais eficiente do modelo hidrológico, já que somente havia dados disponíveis para o período compreendido entre 1970 a 1982 e provavelmente o uso e a ocupação do solo na bacia foram modificados significativamente após esse período, o que influencia no regime hídrico da região. Somado a isso, novos barramentos e açudes foram construídos, afetando as vazões naturais dos cursos de água dessas bacias.

Por esses motivos, ressalta-se a importância de aperfeiçoar a rede de monitoramento hidrometeorológico nessa região para que estudos futuros referentes à disponibilidade hídrica possam ser realizados com maior grau de precisão.

Como proposta de aperfeiçoamento da rede hidrometeorológica, indica-se, primeiramente, que seja monitorada a vazão nos nove pontos em que já existem estações fluviométricas instaladas, mas que não possuem série histórica. Além desses pontos, sugere-se a instalação de mais dez estações, sendo que quatro são referentes à BH do rio Gramame e as outras seis são referentes à BH do rio Abiaí. A distribuição espacial das estações propostas em cada uma das bacias está apresentada na **Figura 5-1** e as coordenadas estão apresentadas pela **Tabela 5-1**.

A escolha da localização das novas estações a serem instaladas foi determinada considerando principalmente: i) locais estratégicos para determinação de vazões de referência; e ii) regiões das bacias que não possuíam outras estações fluviométricas próximas. É válido ressaltar que a localização das estações deve respeitar a distância de remanso, ou seja, as estações não devem ser instaladas em locais sujeitos à remanso. Além disso, para a instalação de novas estações, devem ser seguidas as recomendações que constam no Manual da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – “*Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas*” (ANA, 2014). Ao instalar essas novas estações, será atendido o critério do número de estações fluviométricas por área de acordo com a WMO e serão monitorados os principais cursos de água das BHLS.



<p>Localização</p>	<p>Legendas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sedes Municipais ★ João Pessoa (Capital) ▲ Açudes ~ Hidrografia ▭ Estado da Paraíba ▭ Unidades da Federação ● Estações fluviométricas existentes ● Estações fluviométricas propostas UPHs ▭ Rio Abiaí ▭ Rio Gramame <p>Fonte Sedes municipais: IBGE Hidrografia: BHO Multiescala 2017 ANA 5k Unidades da Federação: IBGE</p> <p>Bacias Hidrográficas da Paraíba: GEO Portal AESA</p>	<p>Informações Cartográficas</p> <p>Escala 1:350.000</p> <p>0 1,75 3,5 7 10,6 14 Km</p> <p>Sistema de Coordenadas Geográficas DATUM: SIRGAS 2000</p> <p>Execução Água e Solo Estudos e Projetos LTDA</p>	<p>Título do Projeto ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HIDRÍCOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS LITORÂNEAS DA PARAIBA</p> <p>Conteúdo Proposta de instalação de estações fluviométricas nas BHLS. Base cartográfica BHLS 1:350.000</p>
---------------------------	---	--	---

Figura 5-1. Rede de monitoramento existente e proposta de instalação de novas estações fluviométricas nas BHLS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 5-1. Curso de água e localização das estações fluviométricas propostas.

Bacia hidrográfica	Curso de água	Latitude	Longitude
Abiaí	Exutório do rio Camocim	-7,440	-34,850
Abiaí	Exutório do rio do Aterro	-7,438	-34,855
Abiaí	Rio Garaú	-7,365	-34,816
Abiaí	Confluência do rio Papocas com o rio do Galo e com o rio Cupissura	-7,455	-34,876
Abiaí	Riacho Cupissura	-7,465	-34,970
Abiaí	Confluência do rio Papocas com o rio Taperubus	-7,430	-34,927
Gramame	Montante da confluência do rio Gramame com o riacho Ipiranga	-7,234	-34,848
Gramame	Exutório do riacho Ipiranga	-7,234	-34,849
Gramame	Confluência do rio Mumbaba com o rio Gramame	-7,213	-34,905
Gramame	Trecho do rio Mumbaba	-7,228	-35,024

Fonte: Acervo próprio, 2022

Em pontos de interesse, como nos locais próximos de reservatórios estratégicos, sugere-se efetuar, além da medição de vazão nas estações fluviométricas, a medição de dados sedimentológicos dos cursos de água, já que, até o presente momento, não existem estações de monitoramento de sedimentos e suspensão nas BHLS.

Para o monitoramento da qualidade da água nos rios, recomenda-se realizar campanhas mais regulares e frequentes de medição dos principais poluentes (pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais em suspensão, sólidos totais dissolvidos, cloretos, nitrogênio amoniacal, nitratos, clorofila, alcalinidade total, ortofosfato total, fósforo total, Escherichia Coli, condutividade específica e fitoplâncton quantitativo). Além disso, sugere-se a padronização do modo de apresentação dos resultados e a criação de uma base de dados unificada entre a AESA-PB, CAGEPA e SUDEMA, de modo que os resultados das campanhas realizadas sejam de fácil acesso e avaliação.

Com relação aos dados de precipitação, ressalta-se que existem várias estações de monitoramento instaladas na área das bacias com séries históricas expressivas e, dessa forma, as mesmas devem ser mantidas. Contudo, é necessário que seja feita uma complementação da rede de monitoramento pluviométrico, especialmente na região do exutório do rio Gramame e na região norte da bacia do rio Abiaí. Posto isso, ressalta-se a necessidade de priorizar o monitoramento na bacia do rio Abiaí, visto que apenas duas estações pluviométricas estão em operação na região.

6 Estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea

Inicialmente, cabe destacar que o Relatório de Diagnóstico (RP4) apresenta uma análise mais detalhada em relação à disponibilidade hídrica subterrânea e qualidade da água subterrânea, visto que contempla a caracterização hidrogeológica das bacias e também considerou uma atualização das fontes de dados consultadas. Desse modo, as informações em nível consistido estão apresentadas no RP4, servindo o presente relatório (RP3) como uma introdução ao tema.

A caracterização hidrogeológica das bacias hidrográficas do Litoral Sul é predominantemente definida pelo sistema Paraíba-Pernambuco. Os aquíferos da bacia costeira Paraíba-Pernambuco podem ser definidos em dois principais subsistemas, o subsistema livre, contido predominantemente no Grupo Barreiras, e o subsistema confinado, qual detêm potencial hídrico significativo devido à formação Beberibe (**Figura 6-1**).

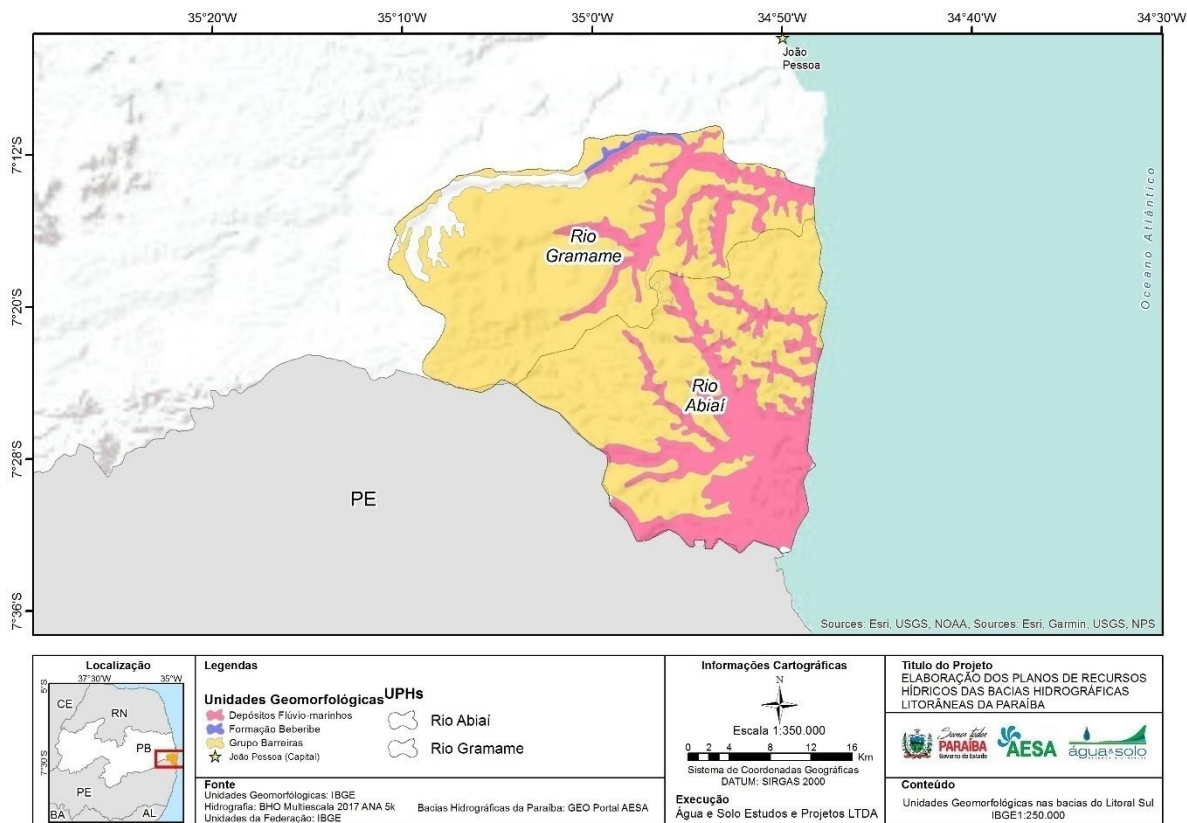


Figura 6-1. Unidades Geomorfológicas do Litoral Sul.

Fonte: Acervo próprio, 2022

A avaliação da disponibilidade hídrica da água subterrânea na região do Litoral Sul se baseou na avaliação dos poços cadastrados e em situação de operação no Sistema de Informações sobre Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM. As informações utilizadas foram especialmente na vazão de estabilização, vazão específica e o nível estático do poço.

Para a apresentação dos dados define-se:

- **Vazão específica ou capacidade específica:** capacidade de produção dos poços, sendo esse valor correspondente a razão entre a vazão (m^3/h) e o rebaixamento (m);
- **Vazão de estabilização:** é a vazão obtida no final do teste de bombeamento;
- **Nível estático:** é a profundidade da água dentro do poço em repouso, sendo que as medidas são em metros, a partir do solo.

A **Tabela 6-1** exhibe os valores mínimos, médios e máximos para os parâmetros supracitados.

Tabela 6-1. Vazões de estabilização mínimas, médias e máximas nos poços das BHLS (SIAGAS/CPRM).

Município	Vazão de estabilização Mínima (m^3/h)	Vazão de estabilização máximas (m^3/h)	Vazão de estabilização média (m^3/h)	Vazões específicas mínimas ($\text{m}^3/\text{h/m}$)	Vazões específicas máximas ($\text{m}^3/\text{h/m}$)	Vazão específicas média ($\text{m}^3/\text{h/m}$)	Poços Equipados
Alhandra	3,990	6,980	5,485	0,289	0,162	0,226	13
Caaporã	1,800	14,400	6,180	0,072	1,370	0,533	4
Conde	-	-	0,55 *	-	-	1,100 *	60
Cruz do Espírito Santo	1,500	2,5	2,13	-	-	0,120 *	76
João Pessoa	4,960	113,14	38,22	0,320	42,2	6,070	23
Pedras de Fogo	-	-	-	-	-	-	35
Pitimbu	-	-	4,17	-	-	0,107 *	11
Santa Rita	0,380	19,8	6,12	0,363	4,76	1,690	58
São Miguel de Taipu	0,500	3,6	2,05	-	-	-	16

*Medição única.

Fonte: SIAGAS

A partir dos dados observados, percebe-se que a produtividade dos poços é caracterizada como moderada. A exceção de produtividade é observada nos poços cadastrados no município de João Pessoa, que possui produtividade elevada. As classes utilizadas para classificação foram: i) $Q_{\text{esp}} < 0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$ - produtividade fraca; ii) $0,5 \leq Q_{\text{esp}} < 3 \text{ m}^3/\text{h/m}$ - produtividade moderada; iii) $3 \leq Q_{\text{esp}} < 12 \text{ m}^3/\text{h/m}$ - produtividade elevada e; iv) $Q_{\text{esp}} \geq 12 \text{ m}^3/\text{h/m}$ - produtividade muito elevada (CORREA *et al.*, 2016).

A **Tabela 6-2** exhibe a profundidade do nível da água dentro do poço quando este está em repouso, percebe-se uma grande variação do nível estático ao longo dos municípios do Litoral Sul. Em média, os poços mais profundos estão localizados nos municípios de Caaporã, João Pessoa e Pitimbu, enquanto os mais rasos estão presentes nos municípios de Alhandra, Cruz do Espírito Santo e Pedras de Fogo.

Tabela 6-2. Níveis estáticos mínimos, médios e máximos dos poços das BHLS (SIAGAS/CPRM).

Município	Nível mínimo (m)	Nível máximo (m)	Nível médio (m)	Poços Equipados
Alhandra	2,00	20,00	8,58	13
Caaporã	18,00	74,00	43,00	4
Conde	3,00	85,00	18,98	60
Cruz do Espírito Santo	1,10	16,00	5,51	76
João Pessoa	0,60	54,00	30,12	23
Pedras de Fogo	2,00	15,10	6,63	35
Pitimbu	4,00	55,00	23,50	11
Santa Rita	1,50	74,00	17,92	58
São Miguel de Taipu	6,00	30,00	12,81	16

Fonte: SIAGAS

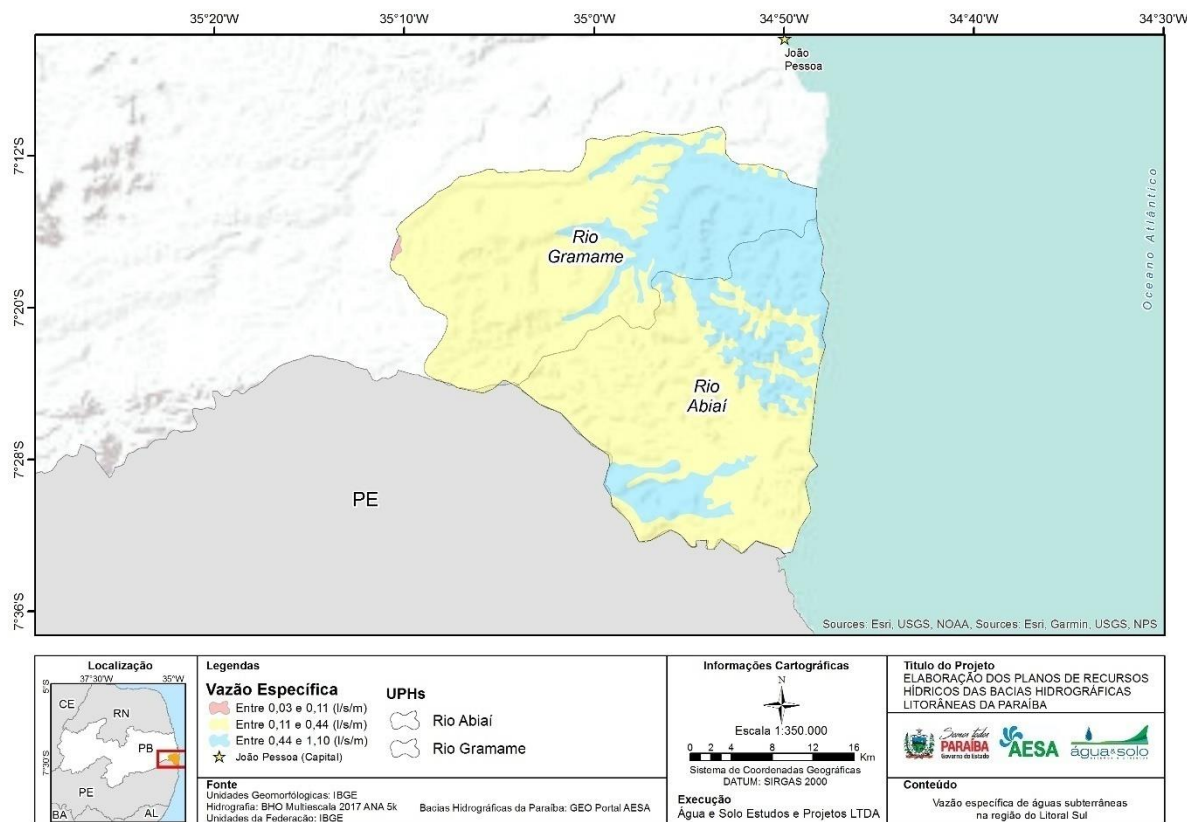


Figura 6-2. Vazão específica de águas subterrâneas (L/s.m) no Litoral Sul.

Fonte: Acervo próprio, 2022

6.1 Qualidade das águas subterrâneas

A partir de avaliação da qualidade de água subterrânea é possível elaborar diretrizes para os diferentes usos preponderante da água, tais como o consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação. A avaliação é feita a partir da classificação das águas subterrâneas, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA n° 396/2008. De acordo com a Resolução CONAMA n° 396/2008, o processo de enquadramento das águas subterrâneas deve ser



fundamentado a partir da análise de inúmeros parâmetros, contendo no mínimo os sólidos totais dissolvidos, coliformes termotolerantes e nitrato. Contudo, a Resolução CONAMA n° 396/2008 apresenta que os parâmetros a serem selecionados para subsidiar o enquadramento deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos a serem definidos.

Os dados utilizados para avaliar os aspectos qualitativos das águas subterrâneas das BHLS referem-se às análises químicas de água bruta dos poços operados pela CAGEPA para abastecimento público de alguns municípios. As análises físico-químicas ocorreram em várias campanhas, contudo não apresentaram a periodicidade mínima para subsidiar a proposta de enquadramento. Os parâmetros analisados devem ser monitorados com uma frequência no mínimo semestral, podendo variar conforme a análise individual do caso.

A análise dos dados disponíveis foi realizada a partir da comparação entre os resultados médios obtidos com os Valores Máximos Permitidos, de acordo com os usos preponderantes da água previstos na Resolução CONAMA n° 396/2008. Além disso, verificou-se os padrões de potabilidade dos dados, a partir dos valores de referência apresentados na Portaria n° 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde.

Destaca-se que apenas os dados de qualidade dos poços presentes nos municípios de Alhandra, Caaporã, Conde e Pitimbu estão disponíveis, sendo apresentados nas **Tabela 6-3** a **Tabela 6-6**.

Tabela 6-3. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Alhandra.

Parâmetros	Unidade	Localidade - Alhandra	
		Mata Redonda	
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg/1 CaCO ₃	183,20	
Alcalinidade em Carbonatos	mg/1 CaCO ₃	0,00	
Alcalinidade em Hidróxidos	mg/1 CaCO ₃	0,00	
Alcalinidade Total	mg/1 CaCO ₃	183,20	
Cloretos	mg/1 / Cl	6,50	
Dióxido de Carbono	mg/1	75,80	
Dureza em Cálcio	mg/1 CaCO ₃	17,90	
Dureza em Magnésio	mg/1 CaCO ₃	16,50	
Dureza Total	mg/1 CaCO ₃	39,60	
Nitratos	mg/1	0,00	
Nitritos	mg/1	0,00	
Condutividade	µS/cm	89,80	
Salinidade	96o	0,00	
Turbidez	UT	1,10	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/1	60,30	
Oxigênio Consumido	mg/1	2,20	
pH	-	6,50	
Cor Aparente	UH	3,50	
Temperatura	°C	24,10	
E. Coli ou Termotolerantes	NMP/ 100 mi	0,00	



Coliformes Totais	NMP/ 100 mi	2,30
-------------------	-------------	------

Legenda

Usos de acordo com a CONAMA nº396/2008. Potabilidade de acordo com a Portaria nº 2.914 de 2011

Consumo humano	Dentro dos limites
Dessedentação animal e Irrigação	Fora dos limites
Recreação	

Tabela 6-4. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Caaporã.

Parâmetros	Unidade	Localidade - Caaporã	
		Poço 1	Poço 2
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg/1 CaCO ₃	284,70	266,2
Alcalinidade em Carbonatos	mg/1 CaCO ₃	0,00	0,0
Alcalinidade em Hidróxidos	mg/1 CaCO ₃	0,00	0,0
Alcalinidade Total	mg/1 CaCO ₃	309,50	266,2
Cloretos	mg/1 / Cl	43,80	33,9
Dióxido de Carbono	mg/1	19,90	17,9
Dureza em Cálcio	mg/1 CaCO ₃	78,90	89,5
Dureza em Magnésio	mg/1 CaCO ₃	88,50	99,4
Dureza Total	mg/1 CaCO ₃	167,40	189,1
Nitratos	mg/1	1,50	0,0
Nitritos	mg/1	0,00	0,0
Condutividade	µS/cm	517,80	489,0
Salinidade	96o	0,20	0,2
Turbidez	UT	0,90	0,7
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/1	345,00	331,0
Oxigênio Consumido	mg/1	3,60	1,4
pH	-	7,60	7,8
Cor Aparente	UH	1,90	4,0
Temperatura	°C	23,80	25,1
E. Coli ou Termotolerantes	NMP/ 100 mi	0,00	0,0
Coliformes Totais	NMP/ 100 mi	3,80	2,2

Legenda

Usos de acordo com a CONAMA nº396/2008. Potabilidade de acordo com a Portaria nº 2.914 de 2011

Consumo humano	Dentro dos limites
Dessedentação animal e Irrigação	Fora dos limites
Recreação	

Tabela 6-5. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Conde.

Parâmetros	Unidade	Localidade - Conde									
		Jacumã	Jacumã - Poço 1	Jacumã - Poço 2	Jacumã - Poço 3	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5	Poço 6
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg/1 CaCO ₃	182,5	179,8	186,8	198,5	50,5	125,9	45,2	51,6	60,5	254,6
Alcalinidade em Carbonatos	mg/1 CaCO ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade em Hidróxidos	mg/1 CaCO ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade Total	mg/1 CaCO ₃	182,5	179,8	186,8	198,5	50,5	125,9	45,2	51,6	60,5	254,6
Cloretos	mg/1 / Cl	91,8	23,2	29,7	26,1	93,5	25,7	63,5	23,8	10,6	14,1
Dióxido de Carbono	mg/1	21,5	12,4	12,2	10,8	55,7	33,1	82,4	60,1	22,3	25,3
Dureza em Cálcio	mg/1 CaCO ₃	118,7	102,4	111,5	96,5	125,9	68,1	88,7	51,4	35,3	75,3



Parâmetros	Unidade	Localidade - Conde									
		Jacumã	Jacumã - Poço 1	Jacumã - Poço 2	Jacumã - Poço 3	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5	Poço 6
Dureza em Magnésio	mg/1 CaCO ₃	83,3	70,1	71,0	79,4	25,2	23,8	18,2	17,0	10,6	94,7
Dureza Total	mg/1 CaCO ₃	202,0	172,5	182,5	175,9	151,0	91,9	106,9	68,4	45,9	170,0
Nitratos	mg/1	0,3	0,0	0,0	0,0	3,5	-	-	-	-	-
Nitritos	mg/1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	0,0
Condutividade	µS/cm	365,6	355,5	315,5	351,7	402,5	220,6	301,0	170,0	116,2	397,3
Salinidade	96o	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Turbidez	UT	1,4	0,5	0,2	0,4	3,6	4,6	3,3	2,6	4,9	1,6
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/1	244,6	238,6	211,5	236,3	271,0	149,1	201,5	113,0	76,4	268,5
Oxigênio Consumido	mg/1	3,1	2,8	0,0	0,1	4,5	7,5	4,2	3,0	8,3	3,2
pH	-	7,7	7,8	7,8	7,7	6,2	7,3	6,2	6,3	7,0	7,6
Cor Aparente	UH	2,3	2,8	2,9	5,0	8,1	22,8	4,4	4,4	19,8	2,7
Temperatura	°C	23,6	25,5	25,5	24,3	23,4	23,6	23,8	24,3	24,4	24,3
E. Coli ou Termotolerantes	NMP/100 mi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totais	NMP/100 mi	90,5	355,0	315,5	351,7	950,5	1612,8	301,0	408,5	2419,2	100,0

Legenda

Usos de acordo com a CONAMA nº396/2008.	Potabilidade de acordo com a Portaria nº 2.914 de 2011
Consumo humano	Dentro dos limites
Dessedentação animal e Irrigação	Fora dos limites
Recreação	

Tabela 6-6. Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Pitimbu.

Parâmetros	Unidade	Localidade - Pitimbu
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg/1 CaCO ₃	160,7
Alcalinidade em Carbonatos	mg/1 CaCO ₃	0,0
Alcalinidade em Hidróxidos	mg/1 CaCO ₃	0,0
Alcalinidade Total	mg/1 CaCO ₃	160,7
Cloretos	mg/1 / Cl	46,5
Dióxido de Carbono	mg/1	24,4
Dureza em Cálcio	mg/1 CaCO ₃	60,0
Dureza em Magnésio	mg/1 CaCO ₃	93,9
Dureza Total	mg/1 CaCO ₃	137,2
Nitratos	mg/1	0,0
Nitritos	mg/1	0,0
Condutividade	µS/cm	570,5
Salinidade	96o	0,3
Turbidez	UT	1,7
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/1	386,3
Oxigênio Consumido	mg/1	1,5
pH	-	7,8
Cor Aparente	UH	6,1
Temperatura	°C	24,5



Parâmetros	Unidade	Localidade - Pitimbu
E. Coli ou Termotolerantes	NMP/ 100 mi	0,0
Coliformes Totais	NMP/ 100 mi	0,5

Legenda

Usos de acordo com a CONAMA n°396/2008.	Potabilidade de acordo com a Portaria n° 888 de 2021
Consumo humano	Dentro dos limites
Dessedentação animal e Irrigação	Fora dos limites
Recreação	

As águas subterrâneas avaliadas na BHLS se apresentaram, na maioria das vezes, próprias para o consumo humano, de acordo com a Resolução CONAMA n° 396/2008. Com ressalva aos poços localizados no município de Conde, o qual apresentou valores de coliformes totais acima do valor máximo permitido. Dessa maneira, os poços localizados no município de Conde foram classificados como uso preponderante de recreação. Ressalta-se que poucas medições foram realizadas, dificultando a avaliação mais assertiva dos parâmetros em questão. Dessa maneira, sugere-se a manutenção do monitoramento de acordo com a periodicidade mínima imposta pela Resolução CONAMA n° 396/2008.

É importante salientar que no Relatório Parcial 04 (RP4), referente ao Diagnóstico das BHLS, será apresentada a análise de outras fontes de dados de qualidade da água subterrânea, como por exemplo o cadastro de poços da AESA. O acesso a esses dados foi disponibilizado já próximo da finalização da revisão do presente relatório e, por isso, não foram inseridos nesta análise.

7 Avaliação integrada das disponibilidades hídricas: superficial e subterrânea

De acordo com a Resolução nº 202, de 28 de junho de 2018, a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas é definida como o conjunto de procedimentos que visam garantir a sustentabilidade hídrica quanto ao aproveitamento integrado das águas superficiais e subterrâneas.

Sendo assim, a gestão integrada das disponibilidades busca realizar uma alocação otimizada do uso conjunto de água superficial e subterrânea. Dessa maneira, ambas as disponibilidades devem ser consideradas na tomada de decisão, assim como, as inter-relações entre esses compartimentos do ciclo hidrológico.

Dessa forma, de modo a realizar uma análise integrada das disponibilidades hídricas das BHLS, primeiramente foi estabelecida uma classificação da disponibilidade superficial e subterrânea de cada uma das sub-bacias. Para as águas superficiais, as categorias foram definidas a partir da vazão média específica referente à região semi-árida do Atlântico Leste. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2000) a média da vazão específica para bacias e sub-bacias do nordeste fica em torno de $0,0028 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$. A partir desse valor, foram definidas as faixas utilizadas para a Q_{90} como sendo: i) abaixo de 5% da $Q_{\text{média}}$, disponibilidade muito baixa; ii) entre 5% e 10%, baixa disponibilidade; iii) entre 10 e 15%, disponibilidade regular; iv) entre 15 e 20%, alta disponibilidade; e v) acima disso, disponibilidade muito alta. A partir da classificação proposta, identifica-se que todas as sub-bacias apresentaram disponibilidade muito alta de acordo com os critérios do MMA (2000).

As águas subterrâneas foram classificadas considerando as vazões específicas médias dos postos instalados nos municípios de abrangência das BHLS. As classes utilizadas para classificação foram: i) $Q_{\text{esp}} < 0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$ - produtividade fraca; ii) $0,5 \leq Q_{\text{esp}} < 3$ - produtividade moderada; iii) $3 \leq Q_{\text{esp}} < 12$ - produtividade elevada e; iv) $Q_{\text{esp}} \geq 12$ - produtividade muito elevada (CORREA *et al.*, 2016). Os resultados estão apresentados na **Figura 7-1**. A partir da análise da figura percebe-se que, em geral, a disponibilidade hídrica subterrânea é considerada como baixa e moderada em praticamente todos os pontos.

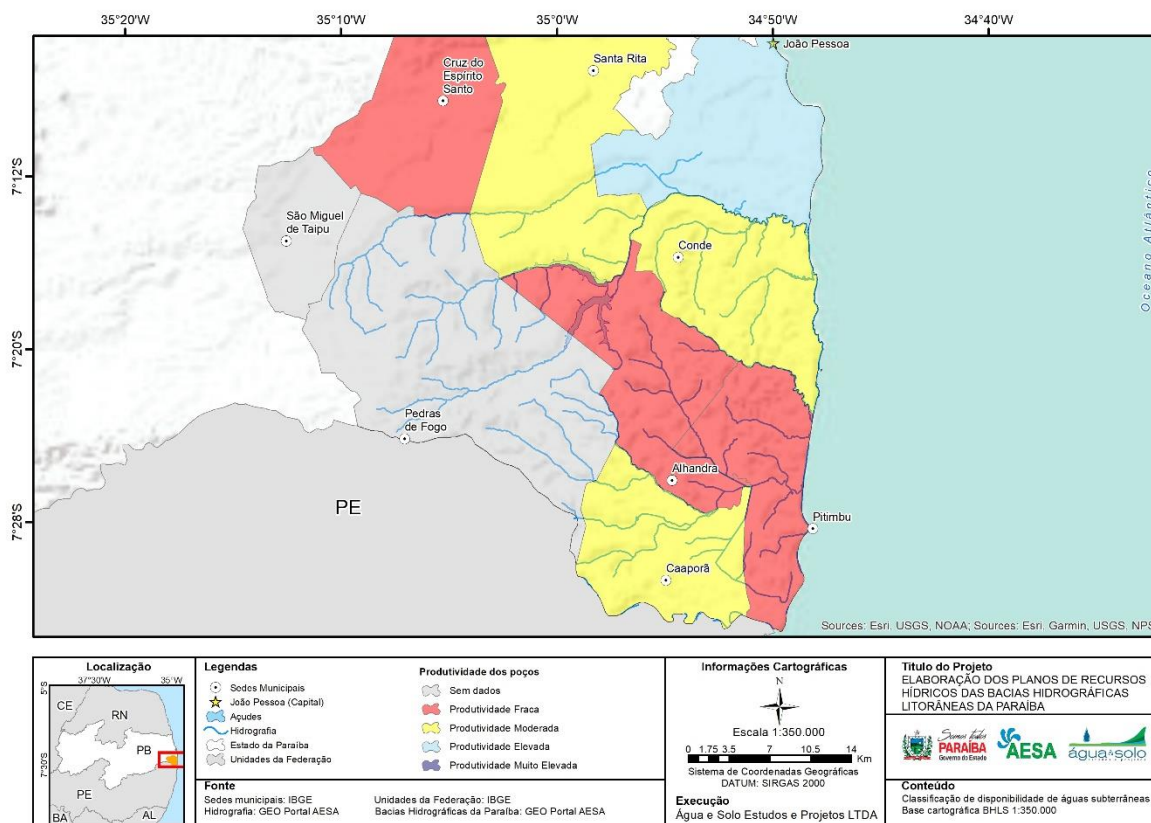


Figura 7-1. Classificação da disponibilidade das águas subterrâneas das BHLS.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Com relação à análise da qualidade das águas superficiais foram utilizados os valores médios dos parâmetros apresentados pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A classificação utilizada considerou como: i) satisfatórias as bacias que apresentaram rios com classes 1 e 2; ii) como usos restritos para as bacias que apresentaram rios com classe 3; e iii) imprópria a qualidade da água das bacias que possuem rios com classe 4. Por fim, é apresentado um resumo da avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea das BHLS, bem como uma avaliação geral das condições atuais de qualidade da água superficial.

Tabela 7-1. Resumo da avaliação integrada da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea.

Sub-bacia	Disponibilidade de água Superficial	Qualidade de água Superficial	Produtividade de água Subterrânea
Gramame	Muito alta	Usos Restritos	Moderada
Abiaí	Muito alta	Satisfatória	Fraca

8 Considerações finais

É importante ressaltar que as informações que estão apresentadas nesse relatório foram geradas utilizando como base as fontes anteriormente citadas.

Nesse sentido destaca-se que todos os resultados apresentados referentes às disponibilidades e potencialidades hídricas das BHLS são resultado de simulações realizadas por um modelo hidrológico de transformação chuva em vazão, já que não havia postos de monitoramento instalados nessas bacias hidrográficas que possibilitassem sua determinação a partir de dados observados. Isto quer dizer que os valores apresentados pelas tabelas são estimados e mesmo que sua determinação tenha sido feita a partir de métodos de regionalização de vazões, é importante entender que eles apresentam um certo grau de incertezas associado. Apesar disso, os valores obtidos apresentam-se similares com as estimativas realizadas pelo PERH.

Nesse sentido, para que se possa aprimorar a gestão dos recursos hídricos dessas bacias hidrográficas, é imprescindível que seja implantado um sistema de monitoramento fluviométrico contínuo e de longo prazo nos principais cursos de água dessas bacias hidrográficas. Isso permitirá que as potencialidades e disponibilidades sejam determinadas com maior grau de precisão, além de possibilitar uma análise mais profunda das anomalias do regime fluviométrico (secas e cheias).

Em relação à qualidade das águas superficiais, pode ser notado que, em geral, os parâmetros monitorados enquadraram os cursos de água na Classe 1. Apesar disso, para se ter conclusões mais efetivas é necessário que sejam realizadas amostragens e coletas com maior periodicidade de modo a analisar a concentração de poluentes em períodos de secas e cheias.

Ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados acerca das águas subterrâneas, visto a relevância dessa fonte de água para região. Tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos devem ser mais bem avaliados a fim de se ter um balanço hídrico mais preciso e, assim, uma gestão integrada mais eficiente.

9 Anexos

9.1 Anexo I- Mapas de frequência de classes da qualidade da água nas BHLS

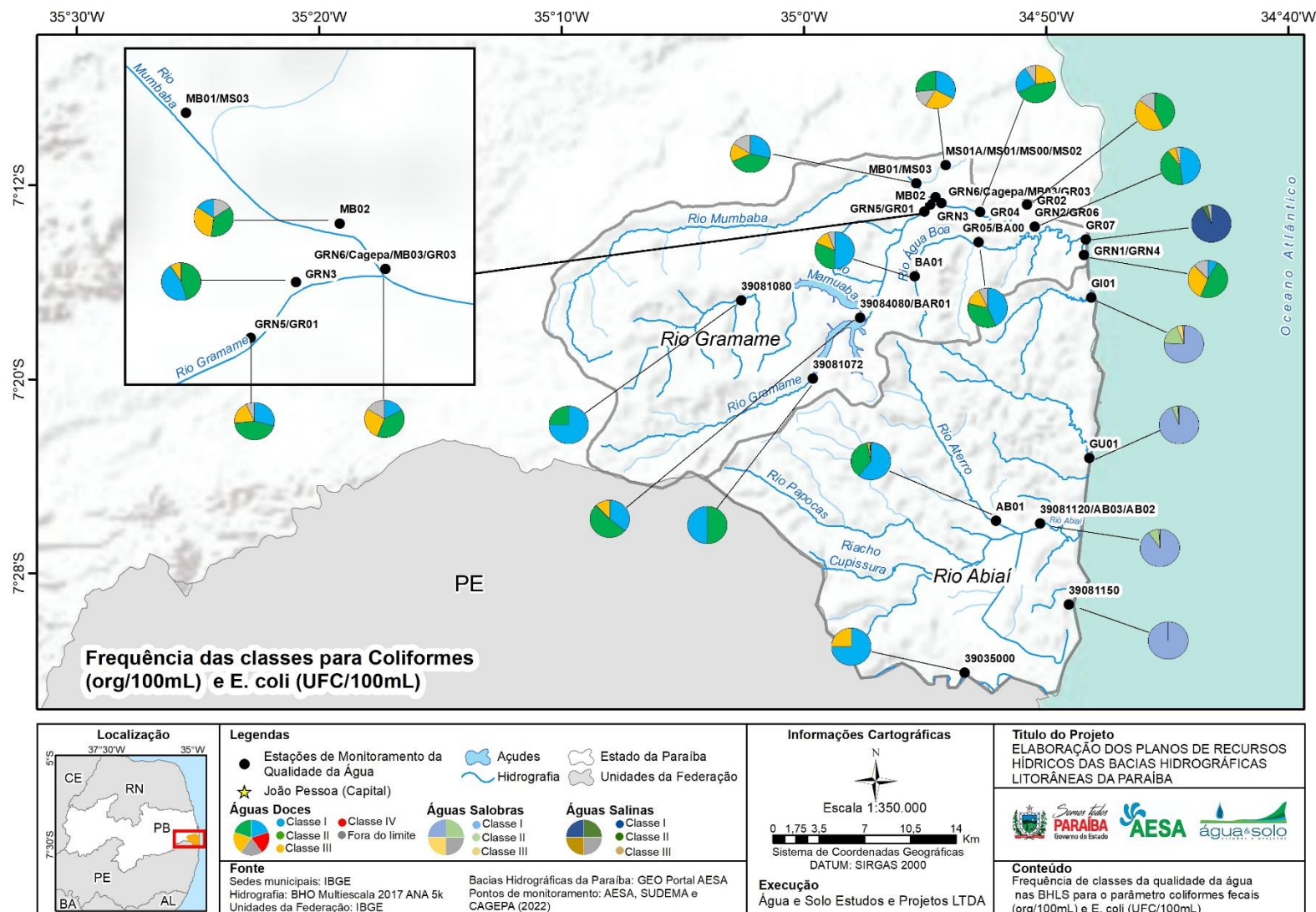
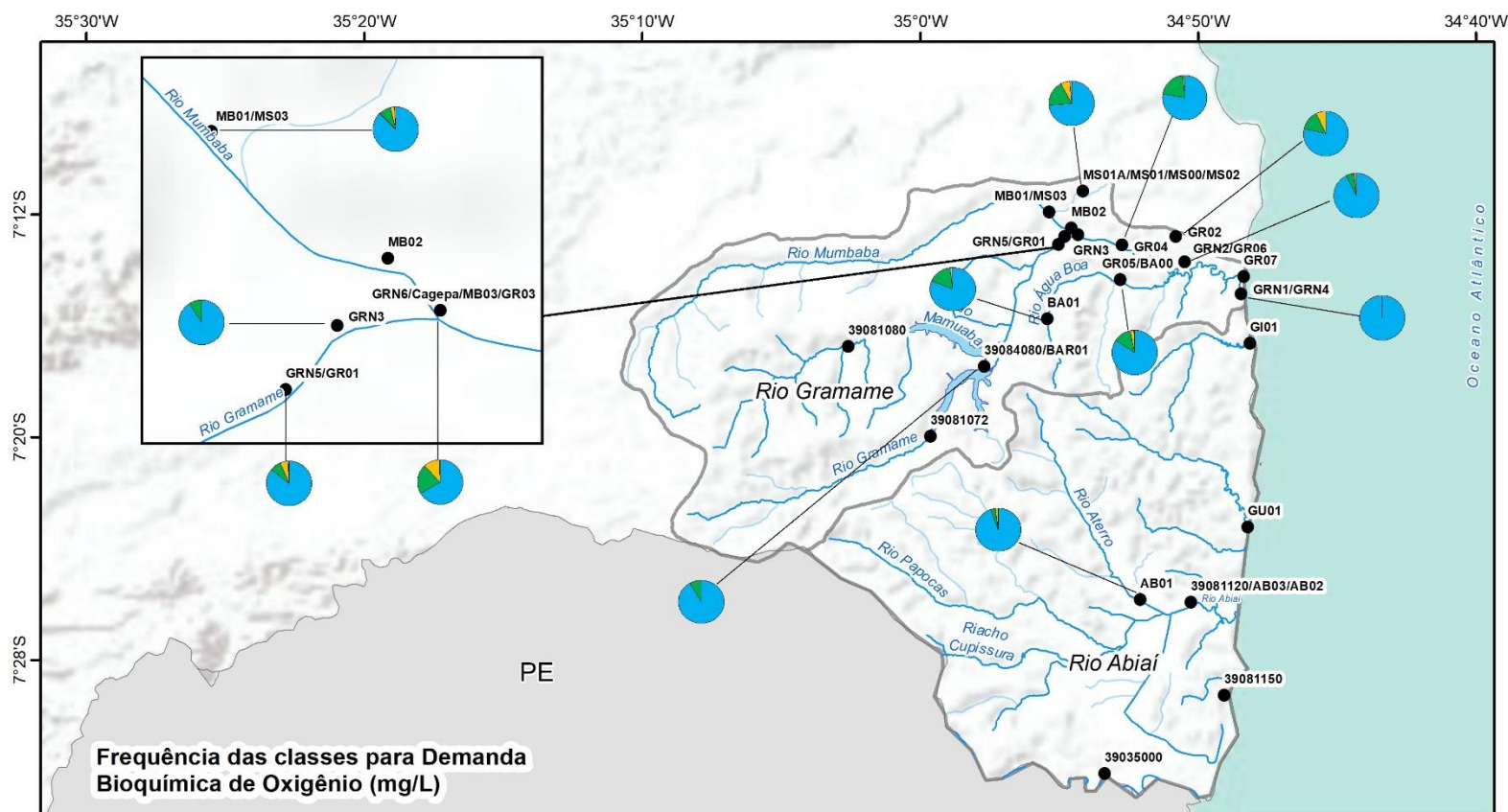


Figure 9.1 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLS para o parâmetro CF e *Escherichia Coli*.



Frequência das classes para Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

<p>Localização</p>	<p>Legendas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Estações de Monitoramento da Qualidade da Água ★ João Pessoa (Capital) ● Água Doce: Classe I (Azul), Classe II (Verde), Classe III (Amarelo), Classe IV (Vermelho), Fora do limite (Preto) ● Águas Salobras: Classe I (Azul), Classe II (Verde), Classe III (Amarelo) ● Águas Salinas: Classe I (Azul), Classe II (Verde), Classe III (Amarelo) <p>Fonte Sedes municipais: IBGE Hidrografia: BHO Multiescala 2017 ANA 5k Unidades da Federação: IBGE</p> <p>Bacias Hidrográficas da Paraíba: GEO Portal AESA Pontos de monitoramento: AESA, SUDEMA e CAGEPA (2022)</p>	<p>Informações Cartográficas</p> <p>Escala: 1:350.000</p> <p>Sistema de Coordenadas Geográficas DATUM: SIRGAS 2000</p> <p>Execução Água e Solo Estudos e Projetos LTDA</p>	<p>Título do Projeto ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS LITORÂNEAS DA PARAIBA</p> <p>Conteúdo Frequência de classes da qualidade da água nas BHLs para o parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)</p>
---------------------------	--	--	---

Figure 9.2 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLs para o parâmetro DBO.

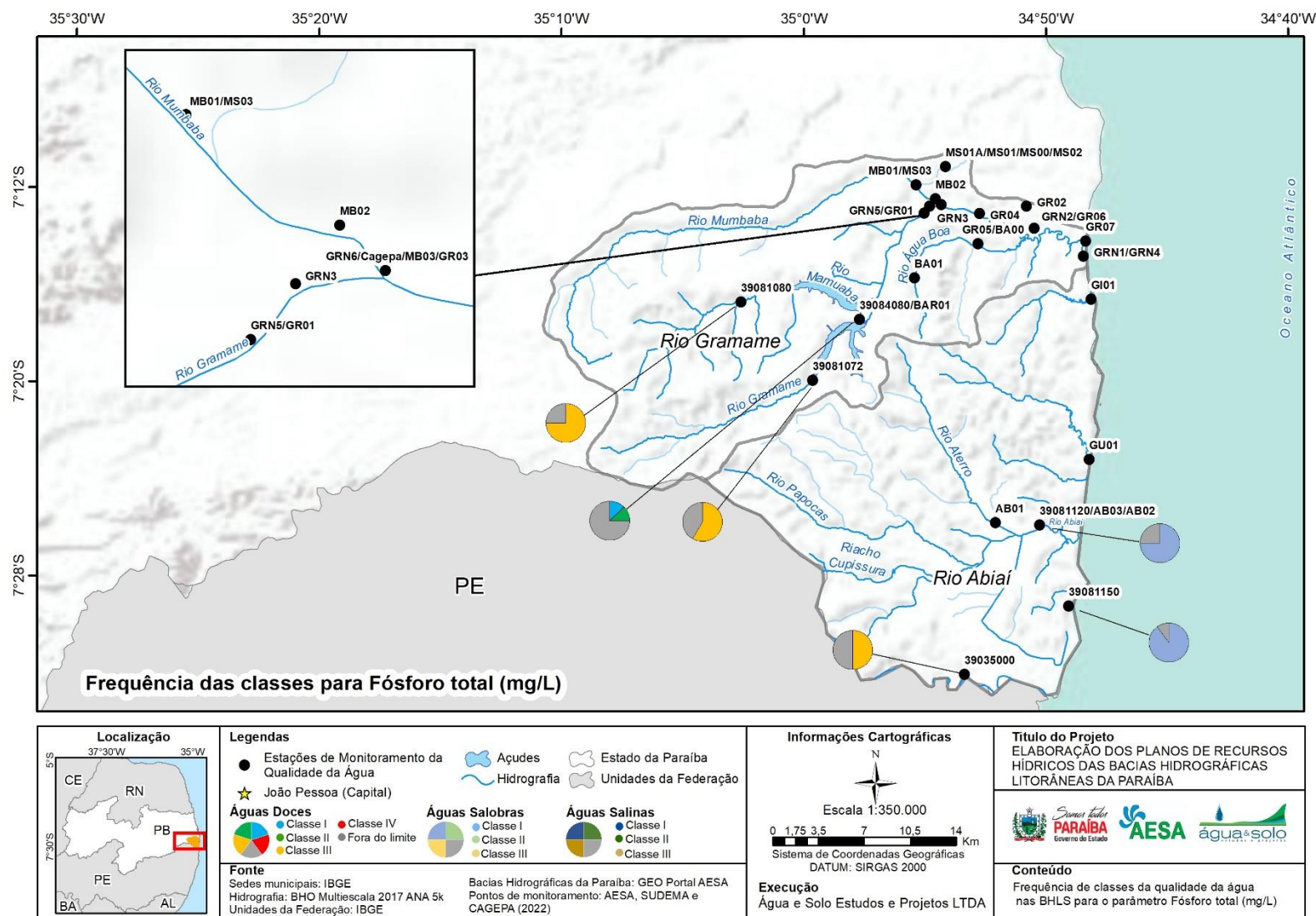


Figure 9.3 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLs para o parâmetro Fósforo total.

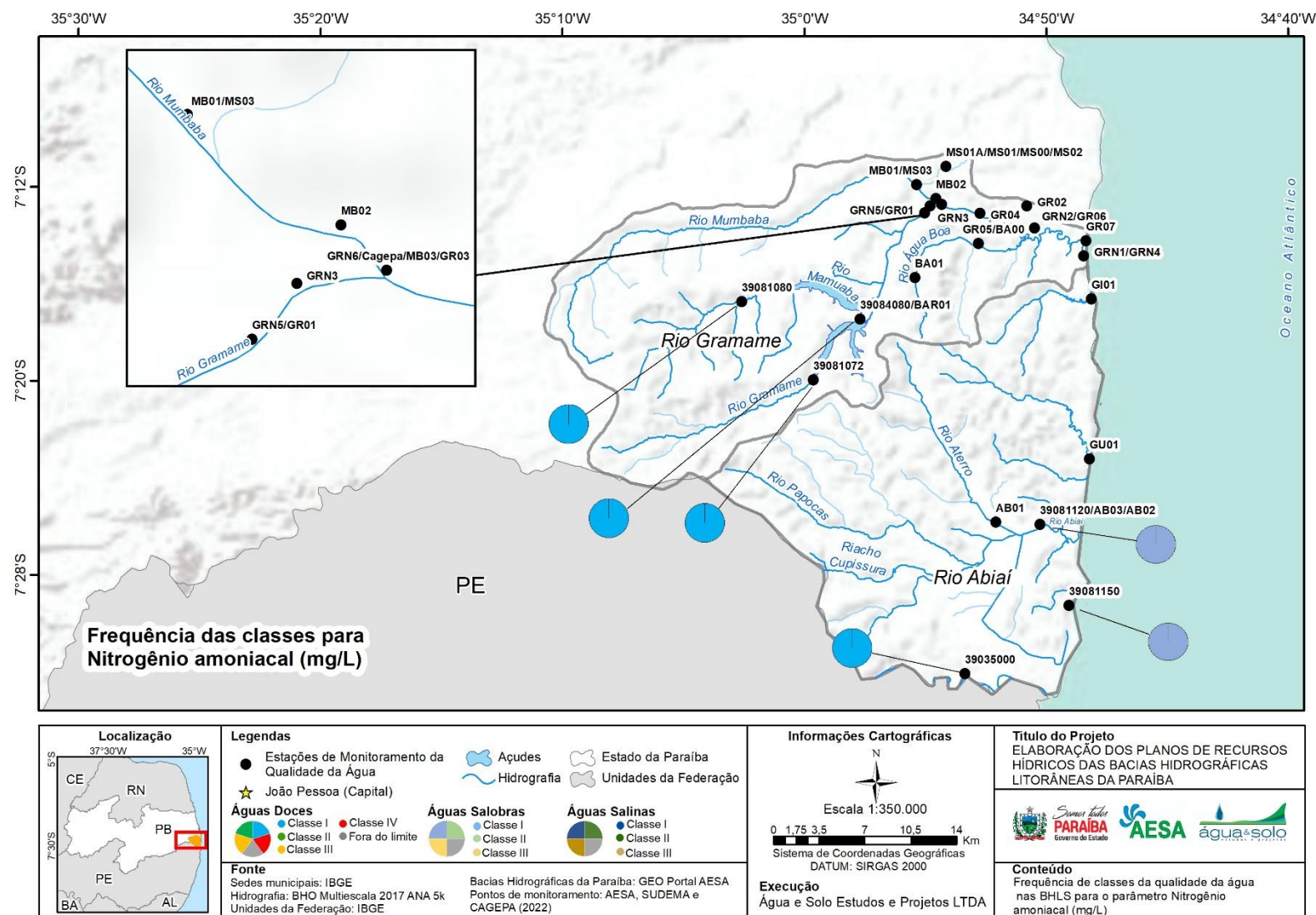


Figure 9.4 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLs para o parâmetro Nitrogênio amoniacal.

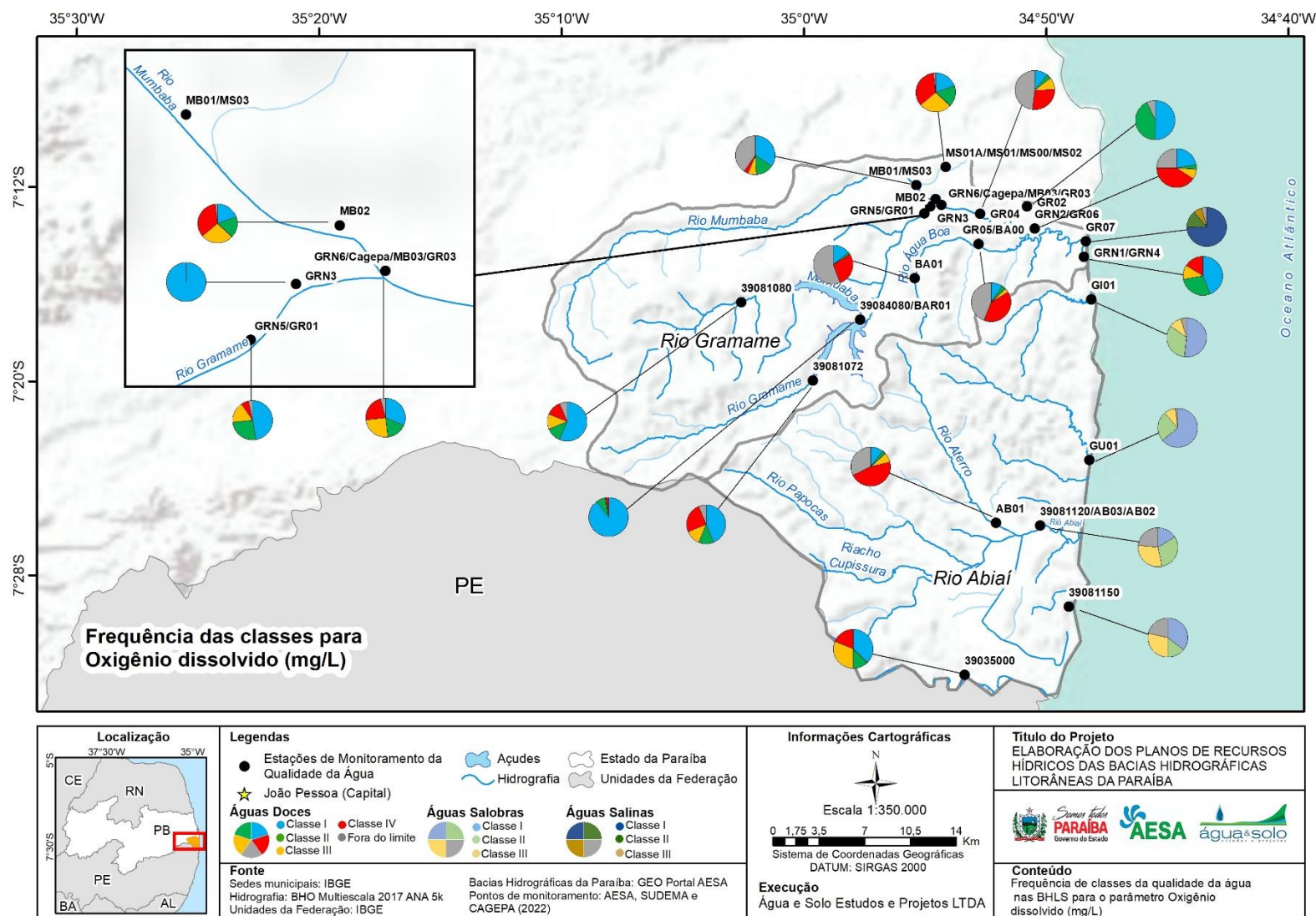


Figure 9.5 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLS para o parâmetro Oxigênio Dissolvido.

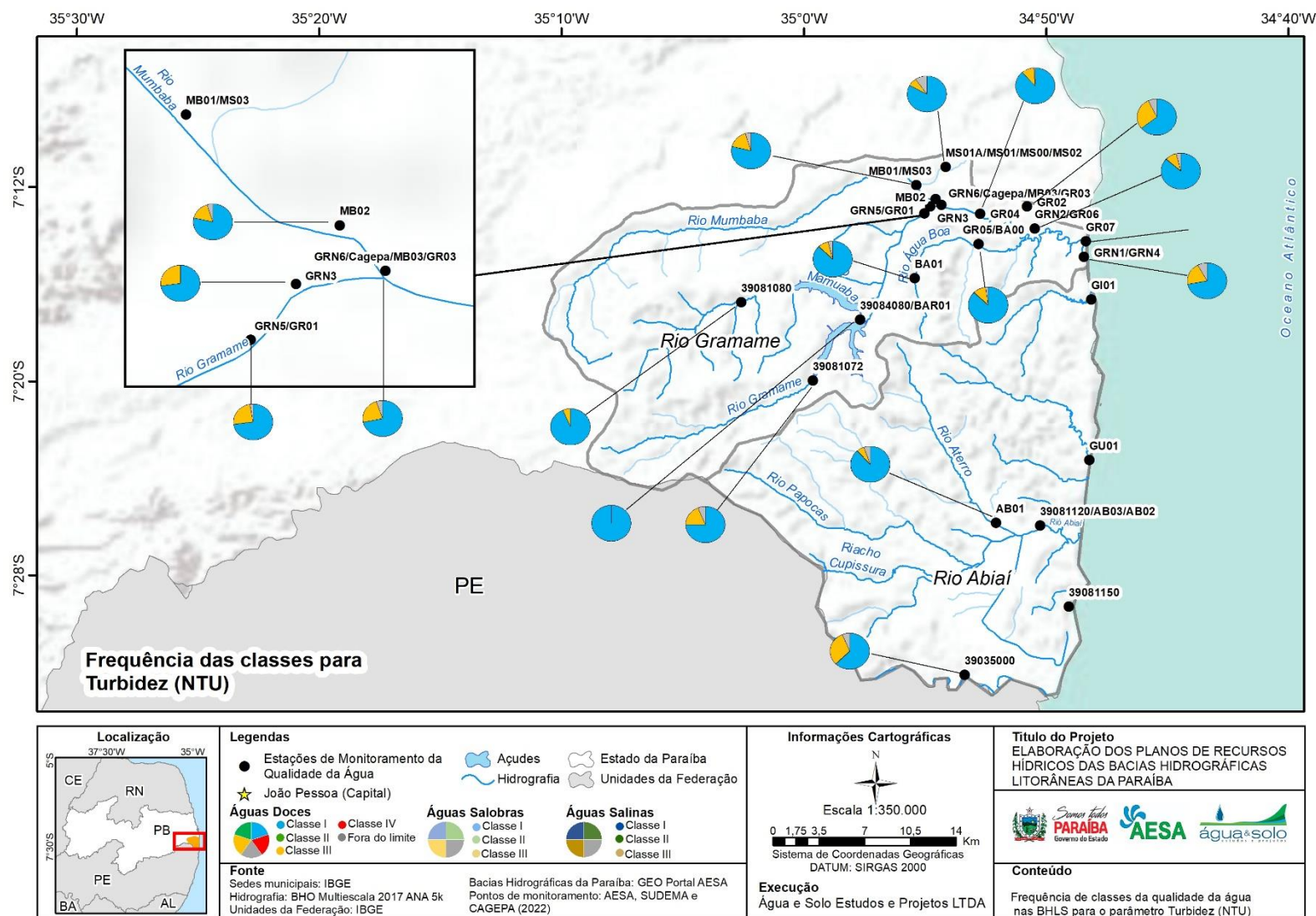


Figure 9.6 - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLS para o parâmetro Turbidez.



10 Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2014). **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas**. Brasília: ANA. 44 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2019). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA. 75 p.

CASTRO, A. L. C. (2003). **Manual de desastres**. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. v.1. p. 174.

COLLISCHONN, W. & DORNELLES, F. (2013). **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Editora ABRH. p. 350.

CORREIA, L.C.; ALVES M.G.; CHRISPIM Z.M.P.; CERQUEIRA F.C.; JÚNIOR G.C.S. (2016). **Análise da produtividade de poços tubulares profundos no município de São João da Barra/RJ**. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. p. 1-15.

DOOGE, J.C.I. (1973). **Linear theory of hydrologic systems**. Tech. Bull. N° 1468. Agricultural Research, U. S. Dept. of Agriculture, Washington, D. C.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. (2020). **Atualização do plano estadual de recursos hídricos – PERH – Relatório parcial (RP02-B)**. 573p.

HARGREAVES, G.L.; SAMANI, Z.A. (1985). **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Applied engineering in agriculture, v. 1, n. 2, p. 96-99.

IBGE. **Projeto Áreas Urbanizadas do Brasil**. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso: 01 de agosto de 2022.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2000). **Agenda 21 brasileira – Bases para discussão**. Brasília. Disponível: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8457/mod_resource/content/1/bases_discussao_agenda21.pdf. Acesso: 16 set. 2018.

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. & SILVEIRA, A.L.L. (1998). Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 3; n. 3; pg. 111-131.

STRAHLER, A.N (1964). **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: Chow VT (ed) Handbook of applied hydrology. McGraw- Hill, New York, p. 439-476.

USACE-HEC. **Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v4.9 – User’s Manual**.US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2022. 721 p.

WMO. **Guide to Hydrological Practice: Hydrology – from Measurement to Hydrological Information**. Geneva Switzerland n.168, v 1, p.296, 2008.