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

21001-ETP3-N-00-02

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

AESA
AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA

Somos todos PARAÍBA
Governo do Estado

água&solo
estudos e projetos

QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento		21001-ETP3-RP3-N-00-02	
Título		Estudo Hidrológico: Potencialidades e Disponibilidades Hídricas das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte	
Aprovação por:		Lawson Francisco de Souza Betrame	
Data da Aprovação:		02/12/2022	
Controle de Revisões			
Revisão Nº	*Natureza*	*Data*	*Aprovação*
00	Emissão Inicial	17/06/2022	LB
01	Revisão	16/08/2022	LB
02	Revisão	02/12/2022	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 – Engª. 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 – Engª. 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 – Engª. Ambiental

Larissa da Silva Soares –Engª Ambiental

Luana Gabriele Gomes Camelo – Graduanda em Eng. Ambiental

Luiz Alberto Pinto Gondim – Engº Agrônomo

Marcelle Gressler – Graduanda em Eng. Ambiental

Marcos Imério Leão – Geólogo

SUMÁRIO

1 Introdução 16

2 Descrição geral das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte 17

2.1 Municípios de abrangência das bacias hidrográficas do Litoral Norte 17

2.2 Caracterização Física 20

2.3 Obras hidráulicas existentes 22

2.4 Rede de monitoramento hidrometeorológico 27

2.4.1 Estações pluviométricas 27

2.4.2 Estações fluviométricas 35

2.4.3 Avaliação do monitoramento por bacia 42

3 Diagnóstico das Águas superficiais das BHLN 45

3.1 Modelagem hidrológica 45

3.2 Potencialidade e disponibilidade hídrica das bacias 59

3.2.1 Bacia hidrográfica do rio Mamanguape 60

3.2.2 Bacia hidrográfica do rio Camaratuba 64

3.2.3 Bacia hidrográfica do rio Miriri 67

3.3 Ocorrência de eventos extremos 70

3.3.1 Registros Si2D 70

3.3.2 Vazões máximas baseadas nas séries históricas 74

4 Qualidade das águas 78

4.1 Rede de monitoramento 78

4.2 Índice de Qualidade da Água (IQA) 82

4.3 Índice de Estado Trófico (IET) 84

4.4 Classificação dos corpos d'água 86

5 Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico 101

6 Estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea 104

6.1 Qualidade das águas subterrâneas 108

7 Avaliação integrada das disponibilidades hídricas: superficial e subterrânea 112

8 Considerações finais 116

9 Referências Bibliográficas 117

10 ANEXOS 119

Anexo I - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLN 119

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 - Áreas totais dos municípios que estão inseridos nas BHLN e percentagem das áreas dos municípios na bacia. 18

Tabela 2-2. Características fisiográficas das BHLN. 20

Tabela 2-3. Açudes e reservatórios inseridos na área das BHLN, sua finalidade e capacidade de armazenamento. 23

Tabela 2-4. Área superficial e número de pequenos reservatórios por bacia hidrográfica. 26

Tabela 2-5. Estações pluviométricas identificadas na região das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. 28

Tabela 2-6. Estações fluviométricas instaladas na área das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. 36

Tabela 2-7. Análise de consistência dos dados de qualidade da água das estações instaladas nas Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. 41

Tabela 2-8. Análise de consistência dos dados das estações fluviométricas. 42

Tabela 2-9. Recomendações do número de estações por unidade de área (km²), segundo a WMO e a ANA. 42

Tabela 3-1. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba. 47

Tabela 3-2. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape. 48

Tabela 3-3. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Miriri. 49

Tabela 3-4. Métodos utilizados para representar as etapas do ciclo hidrológico. 50

Tabela 3-5. Evapotranspiração mensal considerada no modelo hidrológico. 53

Tabela 3-6. Período utilizado para calibração do modelo hidrológico no HEC-HMS. 55

Tabela 3-7. Classificação das simulações conforme os resultados relativos às métricas de desempenho. 56

Tabela 3-8. Resultados das métricas de desempenho para cada uma das estações fluviométricas. 56
Tabela 3-9. Coeficientes de retorno dos principais usos consuntivos da água. 59
Tabela 3-10. Disponibilidade hídrica (Q_{90}) de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape. 60
Tabela 3-11. Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Mamanguape. 63
Tabela 3-12. Disponibilidade de produção de água em cada sub-bacia do rio Camaratuba. ... 65
Tabela 3-13. Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Camaratuba. 66
Tabela 3-14. Disponibilidade (Q_{90}) hídrica em cada sub-bacia do rio Miriri. 68
Tabela 3-15 - Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Miriri. 69
Tabela 3-16 - Eventos extremos registrados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D nos municípios integrantes das BHLN, no período de 1991 – 2016. 71
Tabela 3-17. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Mulungu (38750000). 75
Tabela 3-18. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Sítio Passagem (38771000). 76
Tabela 3-19. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000). 77
Tabela 4.1 - Pontos e parâmetros de monitoramento analisados pelas fontes de dados elencadas. 78
Tabela 4.2. Pontos de monitoramento de qualidade das águas das BHLN. 80
Tabela 4.3 - Estações de monitoramento da RNQA nas bacias do Litoral Norte e seus respectivos IQA CETESB. 83
Tabela 4.4 - Classe de estado trófico e suas características principais. 85
Tabela 4.5 - Índice de Estado Trófico para os pontos de monitoramento da AESA, conforme ano e estação climática. 85
Tabela 4.6 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período **CHUVOSO**. 89
Tabela 4.7 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período **SECO**. 92
Tabela 4.8 - Classes das sub-bacias das BHLN 96
Tabela 4.9. Número total de fontes de poluição e cadastro de outorgas em cada sub-bacia. ... 99
Tabela 5-1. Localização da rede fluviométrica proposta. 102

Tabela 6-1. Vazões de estabilização mínimas, médias e máximas nos poços das BHLN (SIAGAS/CPRM). 105
Tabela 6-2. Níveis estáticos mínimos, médios e máximos dos poços das BHLN (SIAGAS/CPRM). 107
Tabela 6-3 - Média dos resultados das análises dos parâmetros da qualidade da água em Lucena. 110
Tabela 7-1. Resumo da avaliação integrada da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea. 115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Localização das bacias hidrográficas do Litoral Norte e apresentação de seus principais cursos de água. 17
Figura 2-2. Áreas urbanizadas com mais de 300.000 habitantes nas BHLN. 20
Figura 2-3. Hierarquização fluvial das BHLN. 22
Figura 2-4. Açudes e reservatórios identificados na área das BHLN. 24
Figura 2-5. Localização dos pequenos reservatórios presentes nas BHLN. 26
Figura 2-6. Disponibilidade de dados de precipitação nas BHLN. 32
Figura 2-7. Estações pluviométricas instaladas nas BHLN. 33
Figura 2-8. Precipitação média mensal no período de 1994 a 2020. 34
Figura 2-9. Precipitação total anual no período de 1994 a 2020. 35
Figura 2-10. Estações fluviométricas instaladas na área das BHLN 40
Figura 2-11. Área de influência de cada posto pluviométrico nas BHLN. 43
Figura 3-1. Divisão da bacia hidrográfica do rio Camaratuba em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS. 47
Figura 3-2. Divisão da bacia hidrográfica do rio Mamanguape em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS. 48
Figura 3-3. Divisão da bacia hidrográfica do rio Miriri em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS. 49
Figura 3-4. Esquema do modelo hidrológico adotado por esse estudo. 51
Figura 3-5. Evapotranspiração mensal considerada pelo modelo hidrológico. 53
Figura 3-6. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica de Mulungu (38750000) 57
Figura 3-7. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica de Sítio Passagem (38771000) 57
Figura 3-8. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000) 57
Figura 3-9. Disponibilidade (Q_{90}) específica ($m^3/s.km^2$) para as sub-bacias do rio Mamanguape. 61
Figura 3-10. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Mulungu (38750000). 62
Figura 3-11. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Sítio Passagem (38771000). 62

Figura 3-12. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000). 62
Figura 3-13. Potencialidade média específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape. 64
Figura 3-14. Disponibilidade específica (Q_{90}) para cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba. 65
Figura 3-15 Curva de permanência no exutório da bacia do rio Camaratuba. 66
Figura 3-16. Potencialidade específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba. 67
Figura 3-17. Disponibilidade específica (Q_{90}) para cada uma das sub-bacias do rio Miriri. ... 68
Figura 3-18 Curva de Permanência no exutório da bacia do rio Miriri. 69
Figura 3-19. Potencialidade média específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Miriri. 70
Figura 3-20. Mapa do Monitor de Secas para o período de janeiro de 2017. 73
Figura 3-21. Distribuições empírica e teóricas para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Mulungu. 75
Figura 3-22. Distribuições empírica e teóricas para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Sítio Passagem. 76
Figura 3-23. Distribuição empírica de Weibull para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Ponte do Leitão. 76
Figura 4.1 - Pontos de monitoramento de qualidade da água nas BHLN. 81
Figura 4.2. Usos das águas doces permitidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. 87
Figura 4.3. Usos das águas salobras permitidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. 87
Figura 4.4 - Qualidade da água das sub-bacias do Litoral Norte, cadastros de outorga da AESA-PB e fontes de poluilção. 100
Figura 5-1. Rede fluviométrica proposta para as BHLN. 103
Figura 6-1. Unidades Geomorfológicas nas bacias do Litoral Norte. 104
Figura 6-2. Vazão específica de águas subterrâneas (L.s.m). 108
Figura 7-1. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Mamanguape. 113

Figura 7-2. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Camaratuba. 113
Figura 7-3. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Miriri. 114
Figura 7-4. Classificação da disponibilidade das águas subterrâneas das BHLN. 115
Figura 10.1 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para coliformes fecais e *E.coli* 120
Figura 10.2 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para Demanda Bioquímica de Oxigênio. 121
Figura 10.3 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para fósforo total. 122
Figura 10.4 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para nitrogênio amoniacal. 123
Figura 10.5 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para oxigênio dissolvido. 124
Figura 10.6 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para turbidez. 125

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
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMPARN	Instituto de pesquisa científica em Parnamirim
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PERH-PB	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Si2D	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UPH	Unidade de Planejamento Hídrico
WMO	*World Meteorological Organization*

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 Norte (BHLN), 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 BHLN. 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 compõe a Etapa 3 do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte (BHLN).

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

O presente relatório descreve primeiramente as características físicas das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte, 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 BHLN. 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 superficiais das BHLN. 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 BHLN, de modo a monitorar de forma mais adequada às variáveis ambientais como, por exemplo, chuva e vazão dos rios, visto que a obtenção e coleta de dados relativos a essas variáveis são de suma importância para realização de 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 a elaboração do prognóstico e no desenvolvimento do plano de ações para as BHLN.

2 Descrição geral das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte

A descrição das bacias hidrográficas analisadas é realizada nesse capítulo por meio da apresentação de sua localização, divisão hidrográfica interna para fins de diagnóstico (as denominadas Unidade de Planejamento Hídrico - UPHs), caracterização dos principais cursos de água, apresentação das obras hidráulicas existentes e determinação da malha municipal.

A área de interesse, denominada Litoral Norte, é constituída por três principais bacias hidrográficas: a bacia hidrográfica do rio Camaratuba, a bacia hidrográfica do rio Mamanguape e a bacia hidrográfica do rio Miriri (**Figura 2-1**). As três bacias totalizam uma área de contribuição de 4.597,1 km², englobando um total de 51 municípios da Paraíba. A área das BHLN é limitada à leste pelo Oceano Atlântico, ao sul pela bacia hidrográfica do rio Paraíba e à oeste e ao norte pela bacia do rio Curimatace e também ao norte pela bacia do rio Guaju.

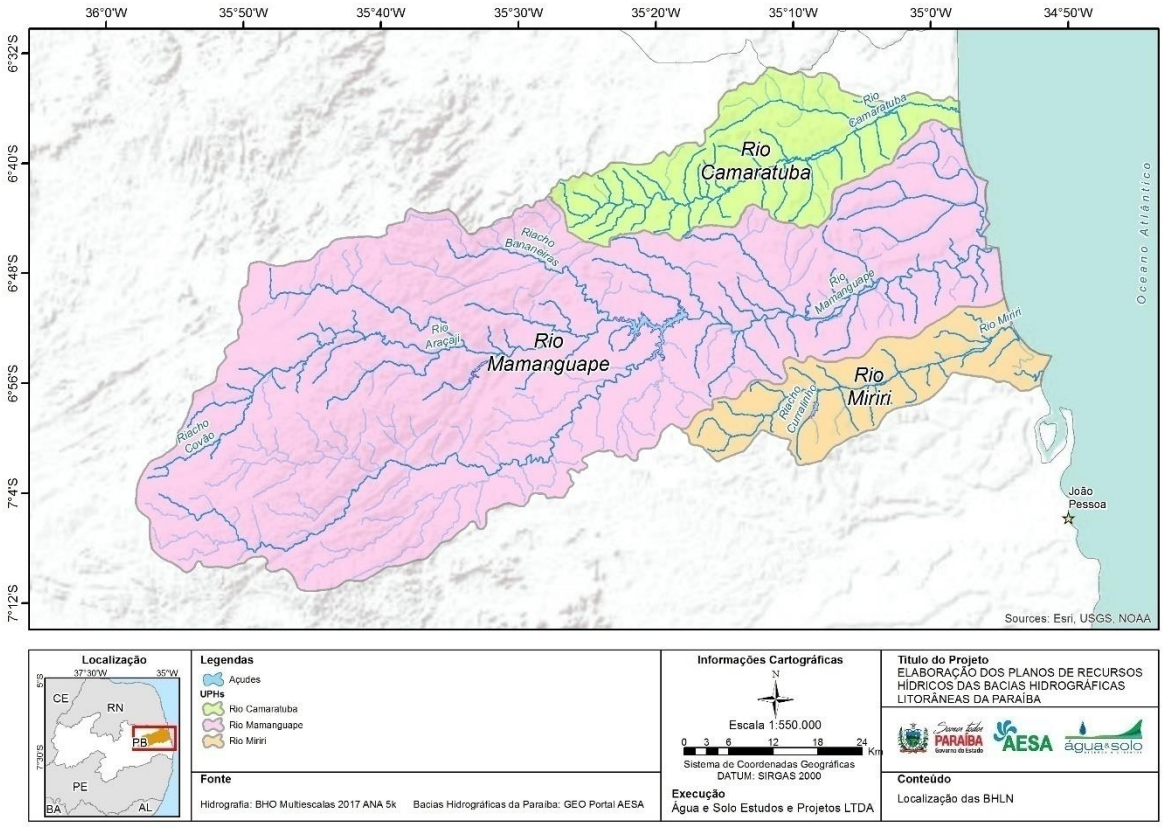


Figura 2-1 - Localização das bacias hidrográficas do Litoral Norte e apresentação de seus principais cursos de água.
Fonte: Acervo próprio, 2022

2.1 Municípios de abrangência das bacias hidrográficas do Litoral Norte

Os dados referentes aos limites dos 51 municípios foram obtidos do portal de *downloads* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html). Desta forma, com a

sobreposição dos limites das bacias hidrográficas com a malha municipal, foi possível visualizar as parcelas dos municípios que compõe cada uma das bacias (**Tabela 2-1**). Dos 51 municípios que compõe a área das BHLN, somente 13 tem sua área totalmente inserida nas bacias.

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

Município	Área do município (km²)	Camaratuba	Mamanguape	Miriri	Localização da Sede Municipal
Alagoa Grande	321,0	-	94,4%	-	Mamanguape
Alagoa Nova	123,9	-	100,0%	-	Mamanguape
Alagoinha	97,1	-	100,0%	-	Mamanguape
Algodão de Jandaíra	220,7	-	2,1%	-	*Fora das BHLN*
Araçagi	231,4	0,25%	99,68%	0,07%	Mamanguape
Arara	99,3	-	100,0%	-	Mamanguape
Areia	267,0	-	100,0%	-	Mamanguape
Areial	35,7	-	89,9%	-	Mamanguape
Baía da Traição	102,7	13,1%	86,7%	-	Mamanguape
Bananeiras	258,1	-	27,5%	-	Mamanguape
Belém	100,3	-	27,3%	-	*Fora das BHLN*
Borborema	26,0	-	100,0%	-	Mamanguape
Capim	78,8	-	59,7%	40,5%	Miriri
Casserengue	201,7	-	14,7%	-	*Fora das BHLN*
Cuité de Mamanguape	108,5	-	91,6%	8,6%	Mamanguape
Cuitegi	39,3	-	100,0%	-	Mamanguape
Curral de Cima	85,2	71,4%	28,4%	-	Camaratuba
Duas Estradas	26,3	96,0%	2,2%	-	Camaratuba
Esperança	159,9	-	65,4%	-	Mamanguape
Guarabira	165,9	-	100,0%	-	Mamanguape
Gurinhém	346,4	-	1,2%	-	*Fora das BHLN*
Itapororoca	146,2	0,05%	99,95%	-	Mamanguape
Jacaraú	253,2	40,5%	-	-	*Fora das BHLN*
Juarez Távora	70,9	-	4,2%	-	*Fora das BHLN*
Lagoa de Dentro	84,6	65,9%	0,01%	-	Camaratuba
Lagoa Seca	107,8	-	62,2%	-	*Fora das BHLN*
Lucena	89,2	-	-	69,8%	Miriri
Mamanguape	340,7	52,1%	45,5%	-	Mamanguape
Marcação	123,9	-	99,7%	-	Mamanguape
Mari	154,9	-	9,1%	14,0%	*Fora das BHLN*
Massaranduba	206,3	-	28,6%	-	Mamanguape
Mataraca	184,0	21,6%	-	-	Camaratuba
Matinhas	38,2	-	100,0%	-	Mamanguape
Montadas	31,7	-	66,2%	-	Mamanguape

Município	Área do município (km²)	Camaratuba	Mamanguape	Miriri	Localização da Sede Municipal
Mulungu	195,5	-	90,4%	-	Mamanguape
Pedro Régis	73,6	78,2%	-	-	*Fora das BHLN*
Pilões	64,5	-	100,0%	-	Mamanguape
Pilõezinhos	44,0	-	100,0%	-	Mamanguape
Pirpirituba	79,9	0,45%	99,55%	-	Mamanguape
Pocinhos	629,4	-	0,1%	-	*Fora das BHLN*
Puxinanã	72,8	-	8,8%	-	*Fora das BHLN*
Remígio	181,2	-	62,9%	-	Mamanguape
Rio Tinto	467,2	14,3%	60,71%	24,99 %	Mamanguape
São Sebastião de Lagoa de Roça	50,0	-	-	6,9%	*Fora das BHLN*
Santa Rita	728,4	-	100,0%	-	Mamanguape
Sapé	315,7	-	0,01%	29,4%	*Fora das BHLN*
Serra da Raiz	29,1	42,6%	37,5%	-	*Fora das BHLN*
Serra Redonda	56,0	-	29,5%	-	*Fora das BHLN*
Serraria	65,4	-	100,0%	-	Mamanguape
Sertãozinho	32,8	75,0%	25,0%	-	Mamanguape
Solânea	233,3	-	40,5%	-	Mamanguape

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 apresentadas áreas urbanizadas com mais de 300.000 habitantes. Pela mancha urbana apresentada, percebe-se que nenhum dos municípios pertencentes as BHLN possuem as áreas urbanas com mais de 300.000 habitantes.

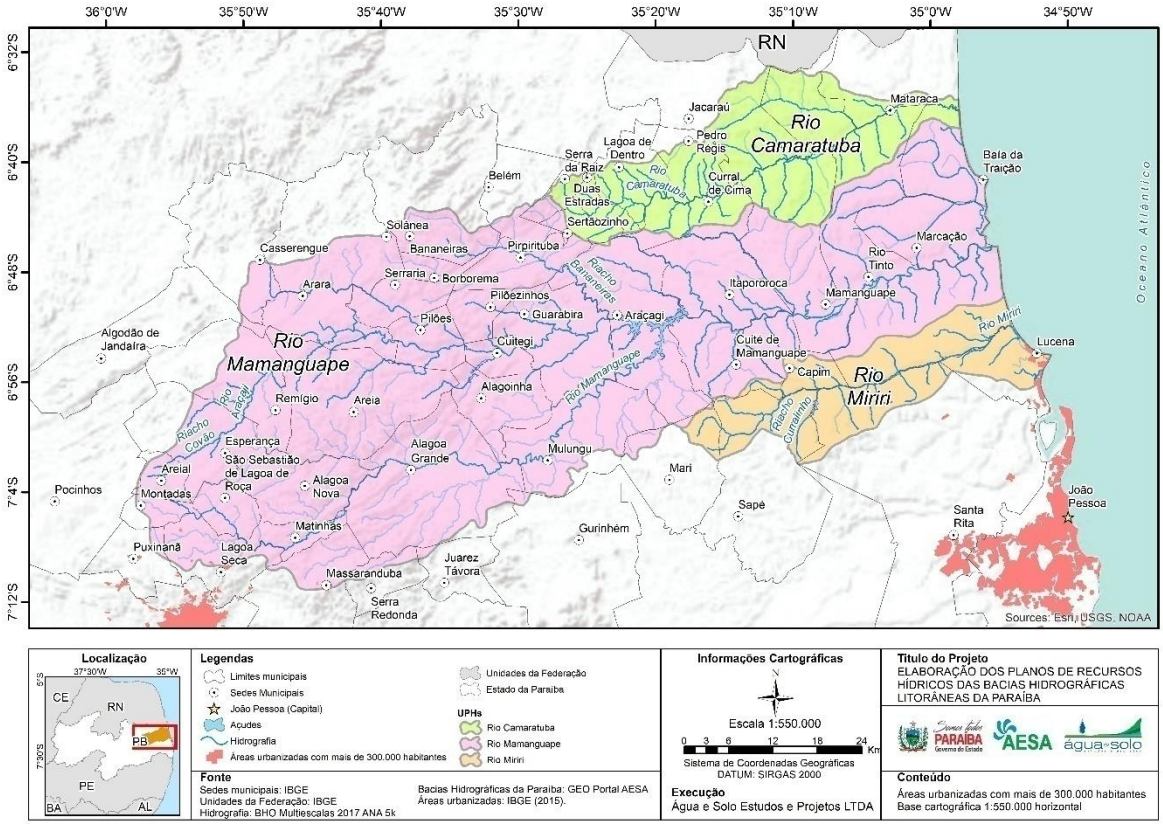


Figura 2-2. Áreas urbanizadas com mais de 300.000 habitantes nas BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

2.2 Caracterização Física

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, um resumo das características fisiográficas das bacias hidrográficas da região do Litoral Norte está apresentado pela **Tabela 2-2**.

Tabela 2-2. Características fisiográficas das BHLN.

Índice	Bacia Hidrográfica		
Bacia	Camaratuba	Mamanguape	Miriri
Área (km²)	637,6	3526,5	436,4
Perímetro (km)	147,0	342,8	130,7
Comprimento axial bacia (km)	64,90	314,10	50,18
Altitude máxima (m)	361	732	453
Altitude média (m)	109,8	258,8	86,8
Declividade máxima (%)	89,2	392,6	90,7
Declividade média (%)	10,3	13,6	6,4
Ordem do canal principal (Strahler)	3	5	3
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,63	1,62	1,75
Fator de Forma (Kf)	0,15	0,04	0,17
Índice de Circularidade	0,37	0,38	0,32

Índice	Bacia Hidrográfica		
Densidade de Drenagem (km/km²)	0,49	0,44	0,44

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 realizar uma avaliação prévia das potencialidades e suscetibilidades da bacia hidrográfica, além de apresentar as similaridades e singularidades entre áreas de interesse. De maneira geral, as bacias dos rios Camaratuba, Miriri e Mamanguape dispõem de características fisiográficas semelhantes. As bacias apresentam forma alongada, com baixa suscetibilidade a inundações por apresentarem coeficiente de compacidade afastado da unidade, e por seu índice de circularidade e fator de forma serem relativamente baixos.

Na **Figura 2-3** está apresentada a hierarquização fluvial dos principais cursos de água das BHLN de acordo com a metodologia proposta por Strahler, pela qual 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.

No caso das BHLN, a determinação da hierarquia fluvial foi realizada utilizando como base a hidrografia da Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental, fornecida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 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 (https://search.asf.alaska.edu/).

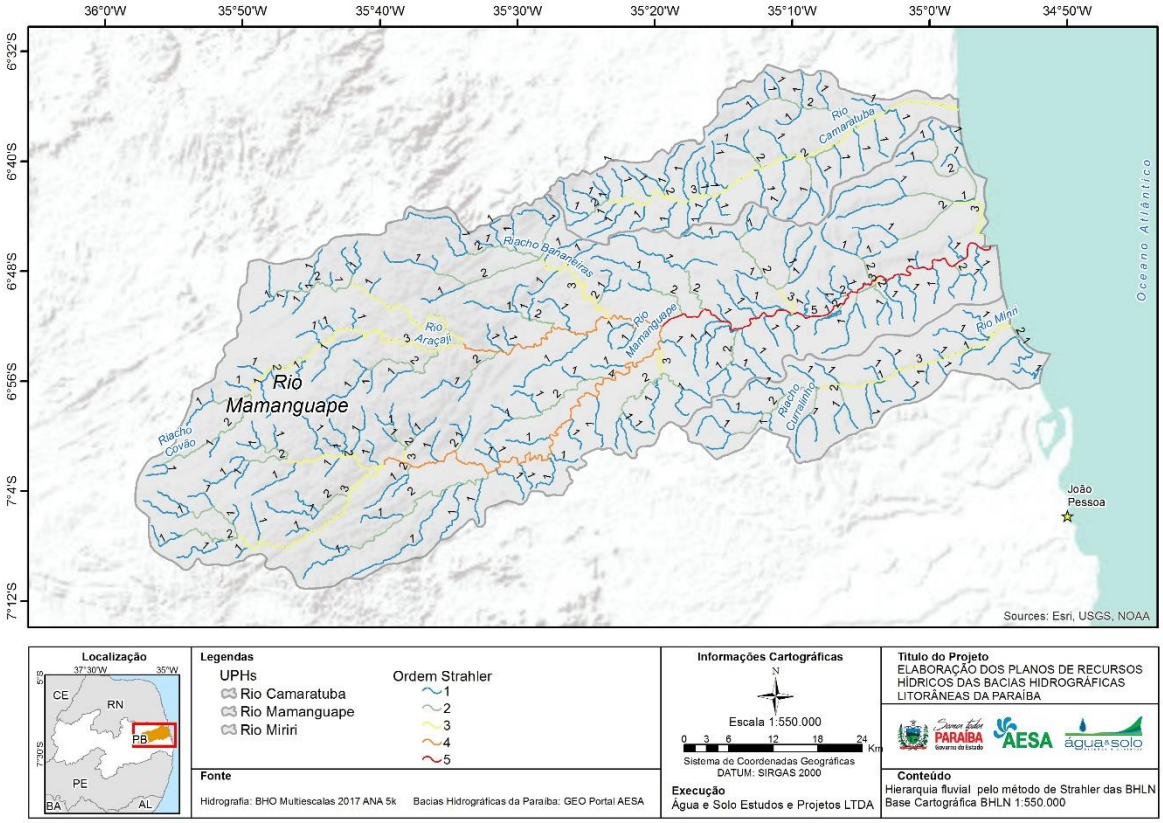


Figura 2-3. Hierarquização fluvial das BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Em relação às características da rede de drenagem, os rios principais foram definidos como de 3º ordem para as bacias Camaratuba e Miriri. Já para a bacia do rio Mamanguape, o trecho principal foi definido como sendo de 5ª ordem, sendo formado após a confluência do rio Mamanguape com o rio Araçagi, um pouco à montante da barragem do rio Araçagi, estando identificado pela cor vermelha na Figura 2-3. Todas as bacias foram caracterizadas por possuírem uma drenagem pobre (Densidade de drenagem < 0,5 km/km²). A densidade de drenagem apresentada indica que as três bacias possuem baixa capacidade de gerar novos cursos de água, escoamento superficial razoavelmente baixo e uma pequena dissecação associada.

2.3 Obras hidráulicas existentes

O levantamento das obras hidráulicas inseridas nas BHLN foi realizado 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 todo foram localizados 34 açudes e reservatórios na área das BHLN, estando cinco localizados na bacia do rio Miriri, 28 na bacia do Mamanguape e somente um na bacia do Camaratuba. Grande parte desses açudes tem como finalidade a regularização de vazões e o

abastecimento humano. Entre os 34 reservatórios identificados, 18 deles são considerados estratégicos para o estado da Paraíba (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.

A seguir, demonstram-se as principais características dos 34 açudes e reservatórios identificados na área das BHLN (**Tabela 2-3**), bem como as suas localizações (**Figura 2-4).**

Tabela 2-3. Açudes e reservatórios inseridos na área das BHLN, sua finalidade e capacidade de armazenamento.

Nome	Finalidade	Capacidade máxima de armazenamento (hm³)	BHLN	Latitude	Longitude	Estratégico
Açude Rio Salgado	Regularização de vazão	1,50	Mamanguape	-6,8830	-35,689	Não
Araçagi	Irrigação	63,29	Mamanguape	-6,854	-35,306	Sim
Barragem Carapucema	Regularização de vazão	7,52	Miriri	-6,935	-35,111	Não
Barragem Estrela	Regularização de vazão	0,23	Mamanguape	-6,854	-35,250	Não
Barragem José Cavalcanti de Morais Filho	Regularização de vazão	0,38	Mamanguape	-6,782	-35,160	Não
Barragem Pindoba	Regularização de vazão	3,78	Miriri	-6,938	-35,139	Não
Brejinho	Abastecimento humano	0,79	Mamanguape	-6,768	-35,615	Sim
Canafistula II	Abastecimento humano	4,10	Mamanguape	-6,790	-35,619	Sim
Cassiano Ribeiro Coutinho Filho	Irrigação	1,09	Miriri	-6,997	-35,219	Não
Chupadouro II	Abastecimento humano	0,63	Mamanguape	-7,166	-35,693	Sim
Conceição	Regularização de vazão	0,91	Mamanguape	-6,810	-35,177	Não
Covão	Abastecimento humano	0,67	Mamanguape	-7,029	-35,920	Sim
Curralinho	Industrial	4,47	Miriri	-6,957	-35,136	Não
Duas Estradas	Abastecimento humano	0,41	Camaratuba	-6,702	-35,443	Sim
Emídio	Abastecimento humano	0,46	Mamanguape	-7,093	-35,927	Sim
Fundo de Vale	Regularização de vazão	0,69	Miriri	-6,989	-35,258	Não
Jangada	Abastecimento humano	0,47	Mamanguape	-6,818	-35,118	Sim
Jacaré	Irrigação	0,42	Mamanguape	-6,9447	-35,820	Não
Lagoa do Matias	Abastecimento humano	1,24	Mamanguape	-6,735	-35,581	Sim
Lagoa Zumbi	Regularização de vazão	0,98	Mamanguape	-7,112	-35,640	Não

Nome	Finalidade	Capacidade máxima de armazenamento (hm³)	BHLN	Latitude	Longitude	Estratégico
Maíra	Industrial	2,45	Mamanguape	-6,865	-35,172	Não
Manguape	-	0,66	Mamanguape	-7,089	-35,872	Não
Massaranduba	-	0,60	Mamanguape	-7,1526	-35,731	Não
Nova Camará	Abastecimento humano	26,58	Mamanguape	-7,031	-35,761	Sim
Penha	Regularização de vazão	1,54	Mamanguape	-6,848	-35,152	Não
Pirpirituba	Abastecimento humano	4,67	Mamanguape	-6,810	-35,569	Sim
Pitombeira	Abastecimento humano	2,96	Mamanguape	-6,993	-35,648	Sim
Santíssimo II	Industrial	2,15	Mamanguape	-6,840	-35,208	Não
Saulo Maia	Abastecimento humano	9,83	Mamanguape	-6,917	-35,675	Sim
Sindô Ribeiro	Abastecimento humano	3,02	Mamanguape	-7,152	-35,729	Sim
Suspiro	Abastecimento humano	0,28	Mamanguape	-6,724	-35,479	Sim
São Sebastião	Abastecimento humano	0,45	Mamanguape	-7,051	-35,857	Sim
Tauá	Abastecimento humano	8,57	Mamanguape	-6,920	-35,555	Sim
Vaca Brava	Abastecimento humano	3,78	Mamanguape	-6,987	-35,752	Sim

Fonte: AESA, SNISB e CAGEPA

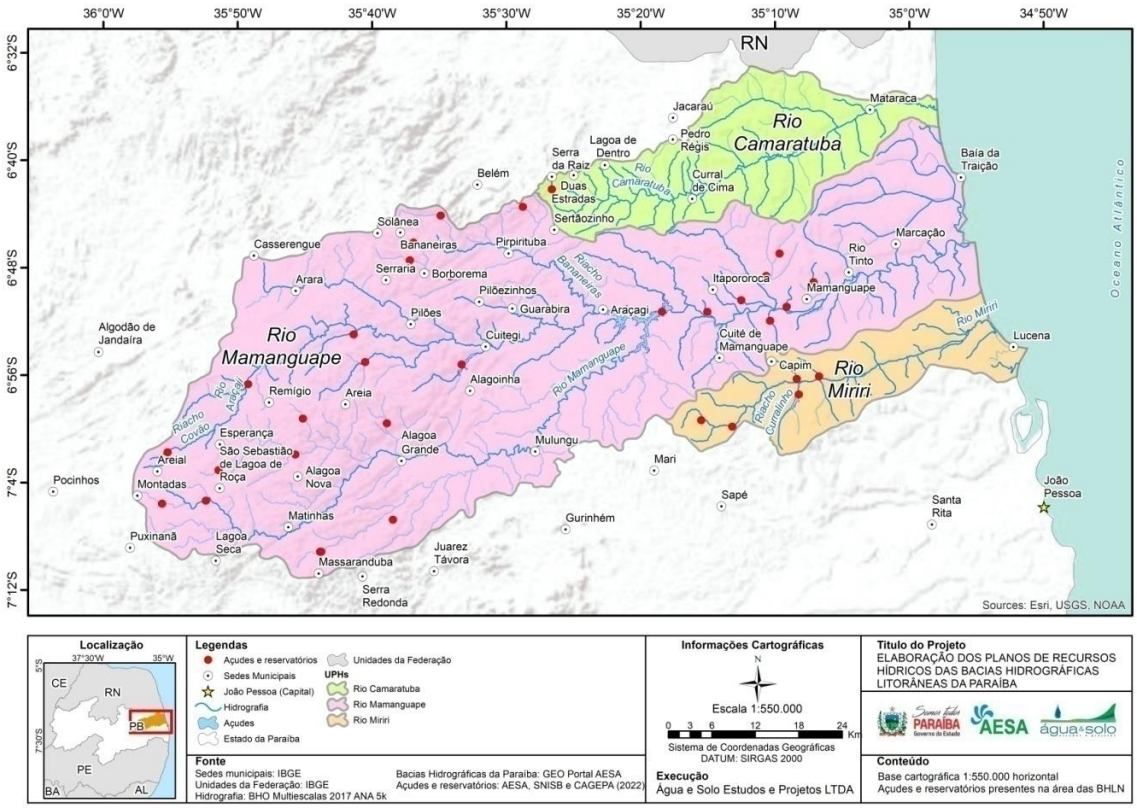


Figura 2-4. Açudes e reservatórios identificados na área das BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Além da presença dos açudes e reservatórios acima mencionados, outra obra de infraestrutura hídrica de grande importância que está presente na área das BHLN é o Canal das Vertentes Litorâneas. Mais detalhes sobre o projeto e de seu potencial de disponibilização de água para a região estão apresentados nos itens *"3.4.2. Área de influência do Canal das Vertentes Litorâneas"* e *"6. Infraestrutura hídrica"* do *"RP4 – Diagnóstico das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte"*.

Por fim, 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 BHLN. 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 45 km², representando 0,98% da área total das BHLN. A **Figura 2-5** exibe a localização da rede de pequenos reservatórios presentes nas BHLN e a **Tabela 2-4** a área superficial e o número de pequenos reservatórios identificados em cada bacia hidrográfica do Litoral Norte.

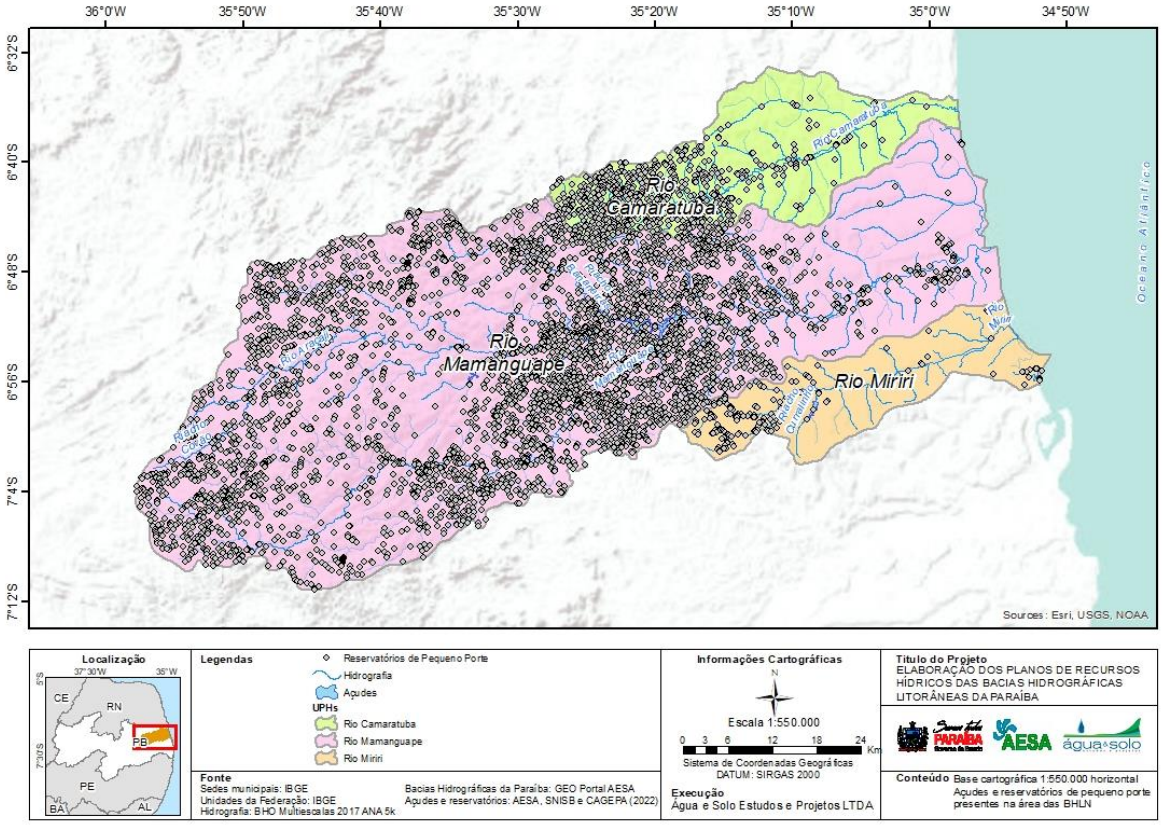


Figura 2-5. Localização dos pequenos reservatórios presentes nas BHLN.

Tabela 2-4. Área superficial e número de pequenos reservatórios por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica do Rio Camaratuba		
Área superficial (km²)	**Área total de cobertura dos reservatórios (km²)**	**N° de reservatórios**
0,00 - 0,01	1,26	546
0,011 - 0,10	2,87	123
0,10 - 0,43	1,27	5
Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape		
Área superficial (km²)	**Área total de cobertura dos reservatórios (km²)**	**N° de reservatórios**
0,00 - 0,01	9,06	3876
0,011 - 0,10	16,49	587
0,10 - 2,18	10,6	34
Bacia Hidrográfica do Rio Miriri		
Área superficial (km²)	**Área total de cobertura dos reservatórios (km²)**	**N° de reservatórios**
0,00 - 0,01	0,22	139
0,011 - 0,10	1,22	41
0,10 - 1,07	2,33	7
Total geral	**45,32**	**5358**

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, consequentemente, 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 à rede de monitoramento hidrometeorológico existente nas Bacias Hidrográficas do Litoral Norte 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 fluviométricas e pluviométricas 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 Norte estão apresentadas na **Tabela 2-5**. Foram consideradas não só as estações inseridas na área das bacias, mas também as estações pluviométricas situadas próximas à região em análise, permitindo, desta forma, a visualização da variabilidade espacial da precipitação. Ao todo, 87 estações foram identificadas, sendo que 52 estão inseridas na área das BHLN e 35 encontram-se em seu entorno. Das 52 estações que estão nas BHLN, 8 situam-se na área da bacia hidrográfica do rio Camaratuba, 42 estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Mamanguape e as outras 2 estão inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Miriri.

É válido ressaltar que das 87 estações pluviométricas, 8 delas não possuem dados. Além disso, somente 14 estações possuem dados de longo prazo (mais de 30 anos). A maior parte das estações possui séries históricas compreendidas entre os anos de 1994 a 2018, sendo que as estações Mulungu e Fazenda Alagamar são as únicas que possuem dados disponíveis atualizados, referentes ao ano de 2021.

A **Tabela 2-5** apresenta as estações pluviométricas identificadas, o órgão responsável e o período com dados, enquanto a **Figura 2-6** ilustra de forma gráfica a disponibilidade de dados na BHLN. Na **Figura 2-7**, está apresentada a localização de cada uma das estações.

Tabela 2-5. Estações pluviométricas identificadas na região das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte.

Código	Responsável	Nome	Latitude	Longitude	Período com dados
634002	AESA-PB	Cabedelo/Cagepa	-6,971	-34,833	1998 a 2016
634003	CEMADEN	Cabedelo Centro	-6,973	-34,836	-
735006	AESA-PB	Sapé	-7,093	-35,223	1924 a 1993
735217	CEMADEN	Sapé Sapé	-7,098	-35,224	-
735007	DNOCS	Pilar	-7,100	-35,283	1922 a 1994
735191	AESA-PB	Gurinhém	-7,126	-35,425	1995 a 2018
735216	CEMADEN	Mulungu Centro	-7,031	-35,462	1994 a 2018
735009	ANA	Mulungu	-7,029	-35,468	1926 a 2021
735189	AESA-PB	Mulungu	-7,031	-35,469	1994 a 2018
735162	AESA-PB	Juarez Távora	-7,163	-35,593	1994 a 2018
735182	AESA-PB	Serra Redonda	-7,186	-35,680	1996 a 2018
735163	AESA-PB	Massaranduba	-7,181	-35,734	1994 a 2018
735178	AESA-PB	Matinhas	-7,121	-35,772	2000 a 2018
735181	AESA-PB	Lagoa Seca	-7,156	-35,857	1995 a 2018
735187	AESA-PB	Lagoa Seca/Emepa	-7,157	-35,882	
735024	DNOCS	Campina Grande	-7,217	-35,867	1962 a 1968
735183	AESA-PB	Campina Grande	-7,233	-35,867	-
735209	CEMADEN	Campina Grande Sandra Cavalcante	-7,244	-35,874	1994 a 2018
735185	AESA-PB	Campina Grande/Santa Terezinha	-7,256	-35,830	-
735025	INMET	Campina Grande	-7,217	-35,883	1963 a 1984
735208	CEMADEN	Campina Grande Alto Branco	-7,207	-35,886	1994 a 2018
735212	CEMADEN	Campina Grande Bodocongó	-7,215	-35,924	1994 a 2018
735179	AESA-PB	Campina Grande/São José Da Mata	-7,190	-35,984	1994 a 2018
735165	AESA-PB	Puxinanã	-7,147	-35,959	1993 a 2018
735177	AESA-PB	Montadas	-7,105	-35,942	1995 a 2018
735176	AESA-PB	São Sebastião De Lagoa De Roça	-7,068	-35,856	1996 a 2018
735160	AESA-PB	Areial	-7,049	-35,926	1994 a 2018
735175	AESA-PB	Esperança	-7,031	-35,869	1995 a 2018
635115	AESA-PB	Esperança/São Miguel	-6,994	-35,833	1996 a 2018
635116	AESA-PB	Remígio	-6,967	-35,791	1995 a 2018
635030	AESA-PB	Areia	-6,976	-35,718	1910 a 1994
635032	INMET	Areia	-6,967	-35,700	1961 a 1966
735034	DNOCS	Alagoa Grande	-7,050	-35,633	-

Código	Responsável	Nome	Latitude	Longitude	Período com dados
735207	CEMADEN	Alagoa Grande Centro	-7,039	-35,631	1994 a 2017
735033	AESA-PB	Alagoa Grande	-7,037	-35,631	1910 a 2018
735003	DNOCS	Fazenda Santa Luzia	-7,033	-35,483	1978
735035	AESA-PB	Caldas Branão	-7,103	-35,324	1962 a 1994
735215	CEMADEN	Mari Centro	-7,061	-35,317	1994 a 2018
735190	AESA-PB	Mari	-7,054	-35,320	1996 a 2018
634001	AESA-PB	Lucena	-6,893	-34,883	1996 a 2016
635129	AESA-PB	Capim	-6,923	-35,173	1994 a 2018
635128	AESA-PB	Cuité De Mamanguape	-6,915	-35,252	2000 a 2018
635126	AESA-PB	Itapororoca	-6,836	-35,257	1995 a 2018
635138	AESA-PB	Mamanguape	-6,836	-35,121	1994 a 2018
635044	DNOCS	Mamanguape	-6,833	-35,117	1910 a 1993
635127	AESA-PB	Rio Tinto	-6,810	-35,075	1996 a 2018
635139	AESA-PB	Marcação	-6,772	-35,016	2010 a 2012
635027	AESA-PB	Araçagi	-6,833	-35,388	1964 a 1992
635065	AESA-PB	Alagoinha	-6,959	-35,553	1994 a 2018
635134	CEMADEN	Alagoinha Residência Oficial da Prefeitura	-6,950	-35,547	1994 a 2018
635114	AESA-PB	Cuitegi	-6,898	-35,525	1996 a 2018
635113	AESA-PB	Pilões	-6,869	-35,614	1995 a 2018
635110	AESA-PB	Arara	-6,831	-35,763	1996 a 2018
635047	AESA-PB	Casserengue/Sítio Salgado	-6,793	-35,894	1962 a 1963
636075	AESA-PB	Algodão De Jandaíra	-6,906	-36,008	1994 a 2018
635040	INMET	Guarabira	-6,850	-35,483	1910 a 1982
635136	AESA-PB	Guarabira	-6,845	-35,496	1994 a 2018
635112	AESA-PB	Pilõezinhos	-6,846	-35,542	1996 a 2018
635111	AESA-PB	Borborema	-6,807	-35,600	1996 a 2018
635048	DNOCS	Serraria	-6,817	-35,633	1911 a 1994
635142	AESA-PB	Serraria	-6,819	-35,639	-
635068	AESA-PB	Solânea	-6,759	-35,648	1994 a 2018
635033	AESA-PB	Bananeiras	-6,751	-35,634	1930 a 1994
635037	AESA-PB	Cacimba De Dentro	-6,637	-35,795	1962 a 1994
635067	AESA-PB	Dona Inês	-6,606	-35,628	1994 a 2018
635124	AESA-PB	Pirpirituba	-6,781	-35,495	1996 a 2018
635058	DNOCS	Sertãozinho	-6,767	-35,433	1913 a 1917
635125	AESA-PB	Sertãozinho	-6,753	-35,433	2010 a 2018
635066	AESA-PB	Belém	-6,717	-35,500	1994 a 2018
635120	AESA-PB	Serra Da Raiz	-6,685	-35,444	1995 a 2018
635079	ANA	Fazenda Alagamar	-6,598	-35,529	1998 a 2021
635038	AESA-PB	Caiçara	-6,615	-35,468	1962 a 1994

Código	Responsável	Nome	Latitude	Longitude	Período com dados
635121	AESA-PB	Duas Estradas	-6,690	-35,420	1996 a 2018
635122	AESA-PB	Lagoa De Dentro	-6,663	-35,366	1995 a 2018
635118	AESA-PB	Logradouro	-6,558	-35,430	2010 a 2016
635123	AESA-PB	Curral De Cima	-6,718	-35,266	2000 a 2014
635148	AESA-PB	Pedro Régis	-6,641	-35,294	-
635137	AESA-PB	Jacaraú	-6,614	-35,292	1994 a 2018
635117	AESA-PB	Mamanguape/Asplan	-6,561	-35,135	1995 a 2018
634000	AESA-PB	Baía Da Traição	-6,671	-34,954	1995 a 2018
635119	AESA-PB	Rio Tinto/Usina Agicam	-6,611	-35,056	1995 a 2016
635140	AESA-PB	Mataraca	-6,601	-35,054	1996 a 2018
635135	CEMADEN	Mataraca - Mataraca Baixa	-6,602	-35,051	1994 a 2018
635002	EMPARN	Pedro Velho	-6,450	-35,233	1910 a 1983
635101	EMPARN	Baia Formosa - Destilaria Vale Verde	-6,400	-35,050	-
635025	EMPARN	Base Física Da Emparn (Canguaretama)	-6,383	-35,117	1911 a 1983
5130	CEMADEN	Canguaretama Rua São José	-6,382	-35,129	1994 a 2018

Fonte: Hidroweb

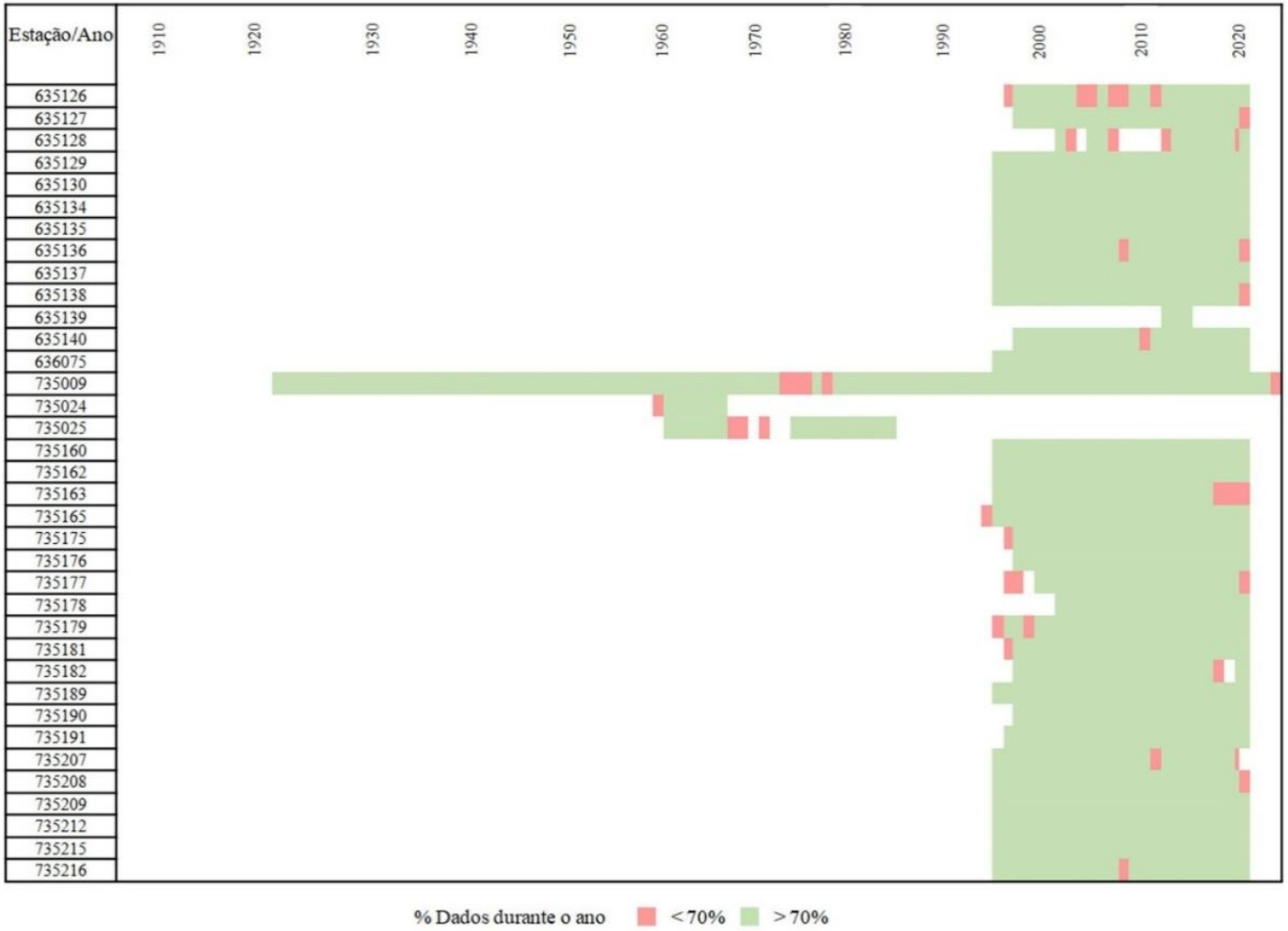

Estação/Ano
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
635126
635127
635128
635129
635130
635134
635135
635136
635137
635138
635139
635140
636075
735009
735024
735025
735160
735162
735163
735165
735175
735176
735177
735178
735179
735181
735182
735189
735190
735191
735207
735208
735209
735212
735215
735216
% Dados durante o ano
< 70%
> 70%

Figura 2-6. Disponibilidade de dados de precipitação nas BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

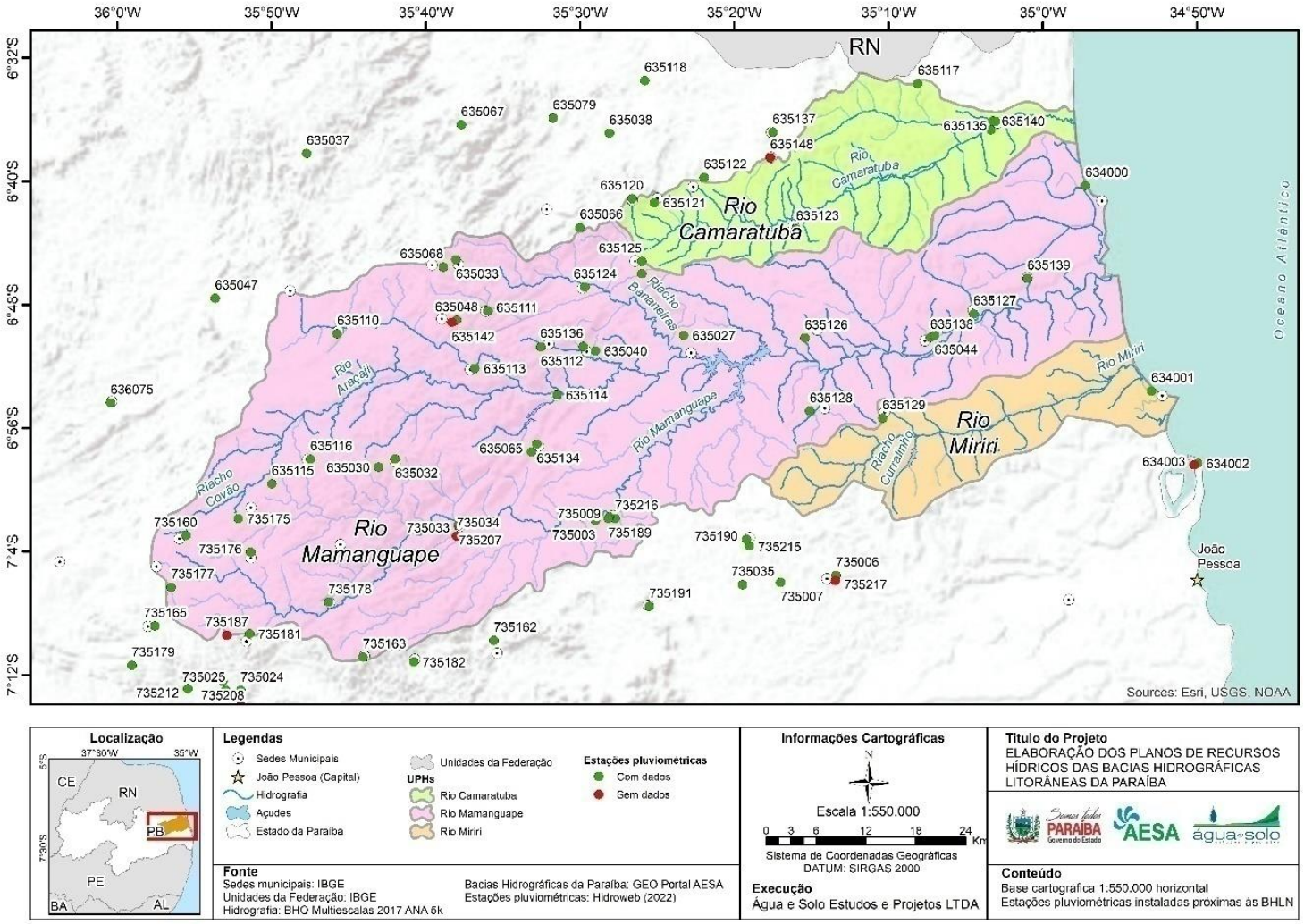


Figura 2-7. Estações pluviométricas instaladas nas BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

A fim de avaliar o regime pluviométrico da região, foram analisadas as precipitações médias mensais e totais anuais no período compreendido entre 1994 e 2020. 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 junho e 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 150,85 mm e o mês mais seco é o mês de outubro com volume médio de 11,47 mm. Analisando os dados em escala anual, destaca-se os anos 2000, 2004 e 2011 como os maiores registros de chuva, com respectivos volumes totais anuais de 1460,1 mm, 1412,3 e 1391,4. Quanto ao período de menor volume de chuva registrado, destaca-se os anos de 1998, 1999 e 2012 que apresentaram totais anuais de 553,5 mm, 642,1 mm e 663,8 mm, respectivamente. Por fim, a média total anual de precipitação para região observada neste período foi de 908,4 mm. A **Figura 2-8** e a **Figura 2-9** exibem os valores de precipitação médios mensais e a precipitação total anual para o período compreendido entre os anos de 1994 a 2020, respectivamente.

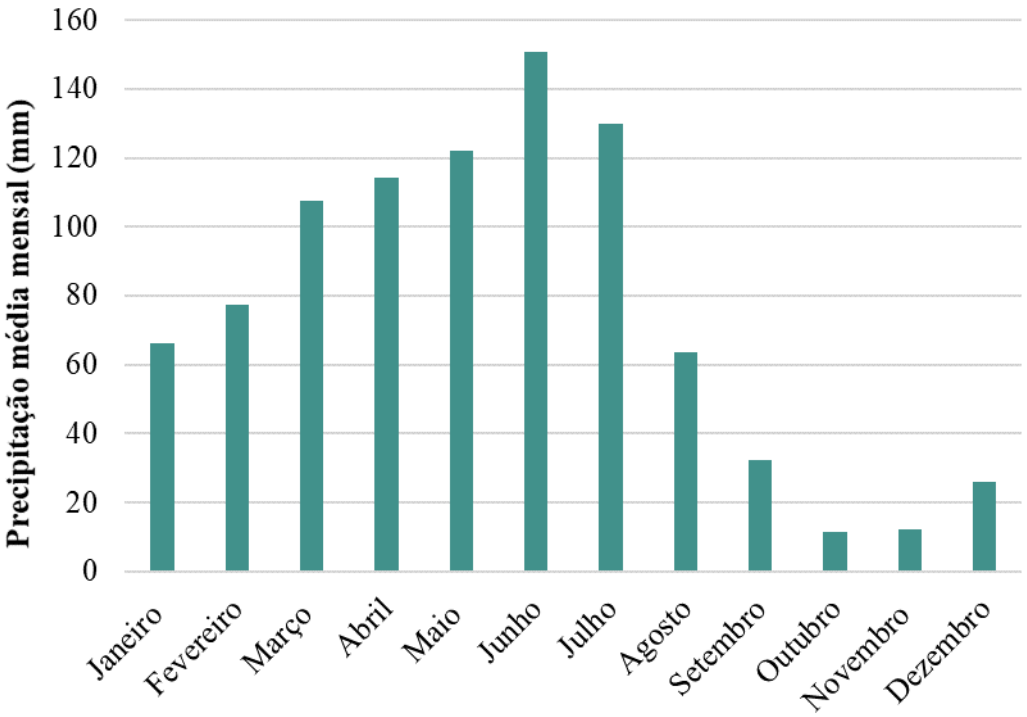


Figura 2-8. Precipitação média mensal no período de 1994 a 2020.

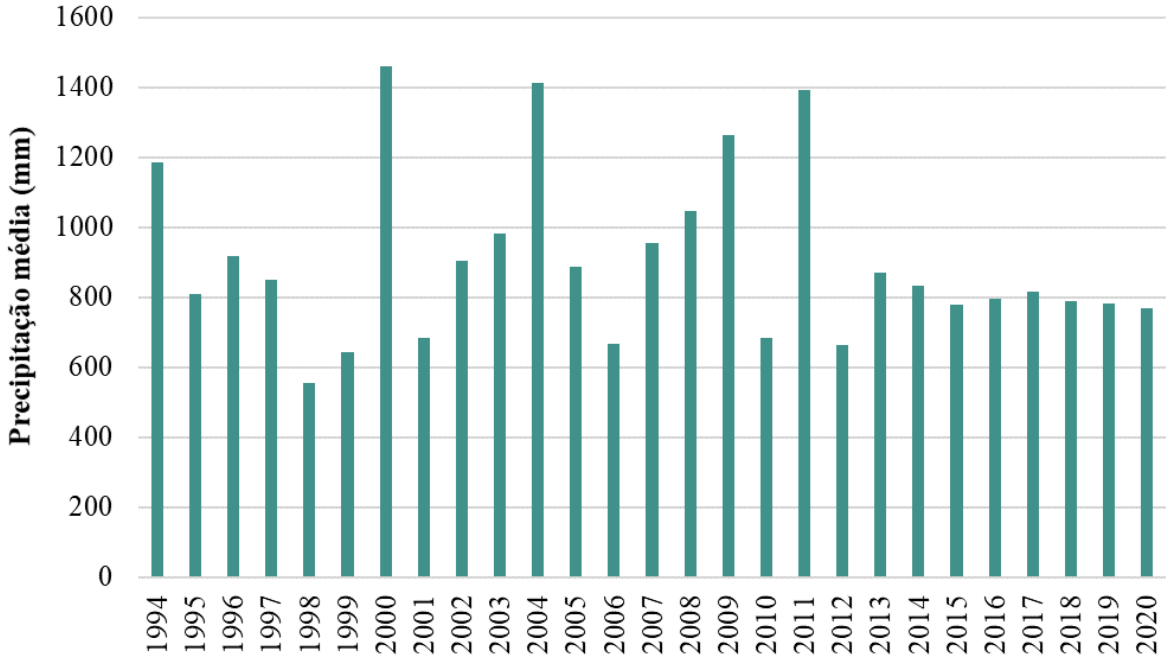


Figura 2-9. Precipitação total anual no período de 1994 a 2020.

2.4.2 Estações fluviométricas

Foram identificadas 30 estações fluviométricas instaladas nas bacias do Litoral Norte, sendo duas na bacia do rio Camaratuba, 27 na bacia do rio Mamanguape e uma na bacia do rio Miriri. A **Tabela 2-6** apresenta informações gerais cada uma das estações.

A análise das séries históricas das estações identificadas demonstrou que seis delas não possuem dados registrados. Das estações com dados, dezenove delas possuem dados relativos às cotas do rio, três possuem dados relativos à curva de descarga, perfil transversal, resumo de descarga e vazões, enquanto 10 possuem medições de qualidade da água. A seguir demonstra-se a localização das estações fluviométricas identificadas, bem como os parâmetros monitorados por cada uma delas (**Figura 2-10**).

Tabela 2-6. Estações fluviométricas instaladas na área das Bacias Hidrográficas do Litoral Norte.

Código	Nome da estação	Período com dados	Latitude	Longitude	Parâmetros	BH	Curso de água	Responsável
38599000	Açude Emídio	2018 a 2021	-7,0919	-35,925	Cota	Mamanguape	Riacho do Emídio	ANA
38599500	Açude Manguape	2018 a 2021	-7,0883	-35,8714	Cota	Mamanguape	Rio Mamanguape	ANA
38600000	Açude São Sebastião	2018 a 2021	-7,0958	-35,8622	Cota	Mamanguape	Riacho São Sebastião	ANA
38610000	Açude Vaca Brava	2017 a 2021	-6,9917	-35,7519	Cota	Mamanguape	Riacho Vaca Brava	ANA
38615000	Açude Saulo Maia	2018 a 2021	-6,9425	-35,6781	Cota e qualidade da água	Mamanguape	Riacho Areia	AESA-PB
38620000	Açude Tauá	-	-6,9075	-35,5383	-	Mamanguape	Rio Tauá	ANA
38630000	Açude Pirpirituba	2018 a 2021	-6,8111	-35,5703	Cota	Mamanguape	Rio Pirpirituba	ANA
38640000	Açude Suspiro	2018 a 2021	-6,7264	-35,4789	Cota	Mamanguape	Riacho do Suspiro	ANA
38647900	Açude Lagoa Do Matias Montante	-	-6,7414	-35,5758	-	Mamanguape	Rio Bananeiras	ANA
38648000	Açude Lagoa Do Matias	2018 a 2021	-6,7372	-35,5794	Cota	Mamanguape	Rio Bananeiras	ANA
38653000	Açude Duas Estradas	2018 a 2021	-6,7056	-35,4433	Cota	Camaratuba	Rio Camaratuba	ANA
38700000	Rio Tinto	2018 a 2021	-6,6481	-35,1211	Qualidade da água	Camaratuba	Rio Camaratuba	AESA-PB
38710000	Açude Covão	2018 a 2021	-7,0272	-35,9181	Cota	Mamanguape	Riacho Covão	ANA
38710900	Barragem Nova Camará	2020 a 2021	-7,0331	-35,7608	Qualidade da água	Mamanguape	Rio Riachão	AESA-PB
38730000	Açude Pitombeiras	-	-6,9925	-35,6492	-	Mamanguape	Riacho Pitombeira	ANA

Código	Nome da estação	Período com dados	Latitude	Longitude	Parâmetros	BH	Curso de água	Responsável
38734000	Açude Sindô Ribeiro	2017 a 2021	-7,1539	-35,7283	Cota	Mamanguape	Riacho Ribeiro	ANA
38735000	Açude Massarandub a	2017 a 2021	-7,1619	-35,7164	Cota	Mamanguape	Rio Cachoeira	ANA
38737000	Açude Chupadouro II	2017 a 2021	-7,1667	-35,6922	Cota	Mamanguape	Riacho Riachão	ANA
38740000	Açude Brejinho	-	-7,1322	-35,6275	-	Mamanguape	Riacho Riachão	AESA-PB
38750000	Mulungu	1973 a 2021	-7,0297	-35,4681	Cota, curva de descarga, perfil transversal, resumo de descarga, vazões, qualidade da água	Mamanguape	Rio Mamanguape	ANA
38750001	Mulungu	2017 a 2021	-7,0297	-35,4681	Qualidade da água	Mamanguape	Rio Mamanguape	AESA-PB

Código	Nome da estação	Período com dados	Latitude	Longitude	Parâmetros	BH	Curso de água	Responsável
38771000	Sítio Passagem	2000 a 2021	-6,8583	-35,4017	Cota, curva de descarga, perfil transversal, resumo de descarga, vazões, qualidade da água	Mamanguape	Rio Aracají	ANA
38774900	Açude Araçagi Montante	2018	-6,8558	-35,3864	Cota	Mamanguape	Rio Mamanguape	ANA
38775000	Açude Araçagi	2018 a 2021	-6,8528	-35,2956	Cota e qualidade da água	Mamanguape	Rio Mamanguape	AESA-PB
38775100	Açude Araçagi Jusante	-	-6,8528	-35,2958	-	Mamanguape	Rio Mamanguape	ANA
38790000	Ponte Do Leitão	1969 a 2021	-6,8519	-35,1631	Cota, curva de descarga, perfil transversal, resumo de descarga, vazões, qualidade da água	Mamanguape	Rio Mamanguape	ANA
38794000	Açude Jangada	2018 a 2021	-6,8186	-35,1194	Cota	Mamanguape	Rio Tinto	AESA-PB

Código	Nome da estação	Período com dados	Latitude	Longitude	Parâmetros	BH	Curso de água	Responsável
38795000	Rio Mamanguape	2017 a 2021	-6,8267	-35,0861	Qualidade da água	Mamanguape	Rio Mamanguape	AESA-PB
38796000	Rio Tinto	2018 a 2021	-6,8911	-34,9364	Qualidade da água	Miriri	Rio Miriri	AESA-PB

Fonte: Hidroweb

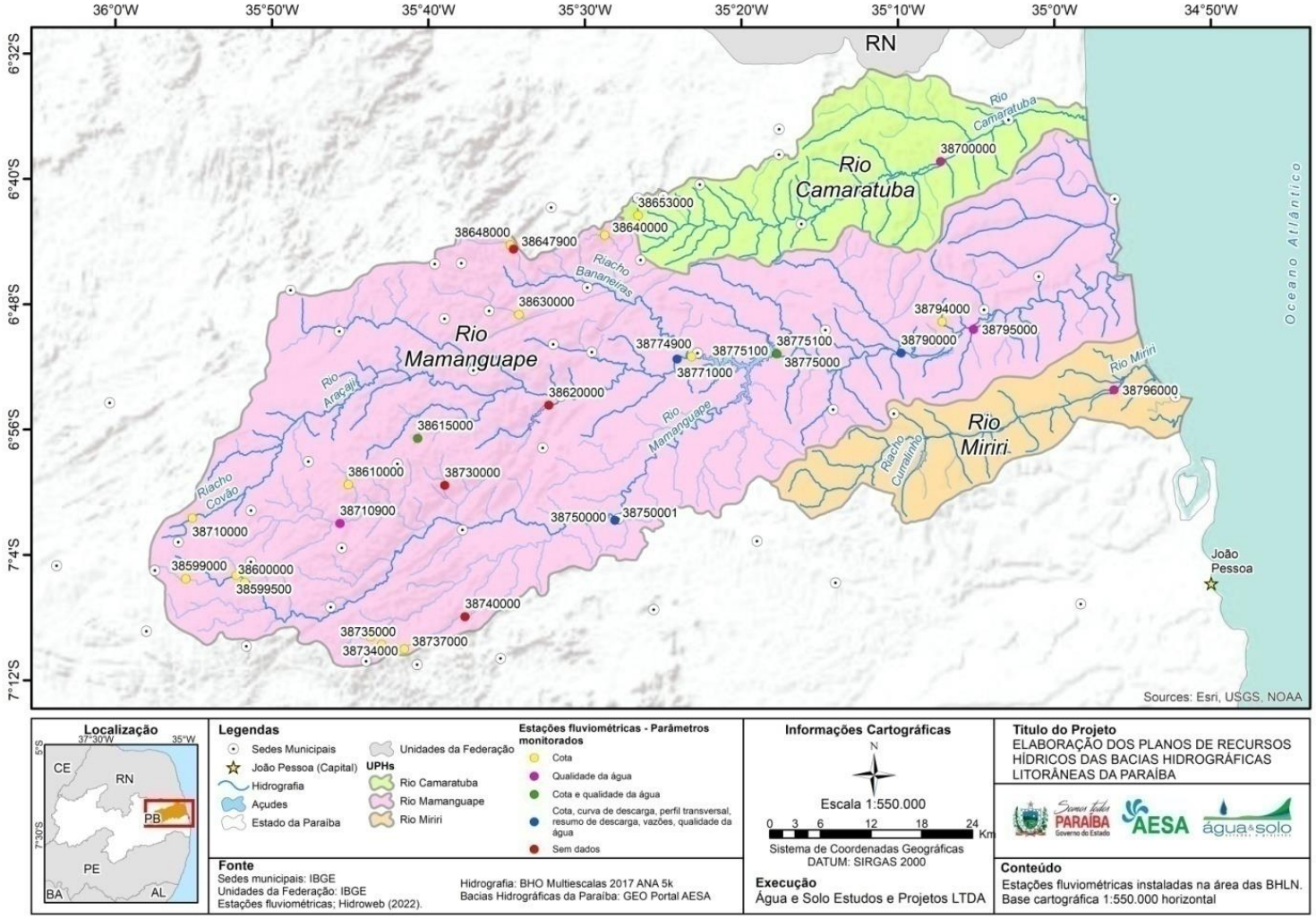


Figura 2-10. Estações fluviométricas instaladas na área das BHLN
Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.2.1 Análise de consistência de dados de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade de água analisados por todas as estações da BHLN são: 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. Na **Tabela 2-7** estão apresentados os parâmetros de qualidade da água analisados por cada uma das estações fluviométricas, bem como o número total de análises realizadas.

Tabela 2-7. Análise de consistência dos dados de qualidade da água das estações instaladas nas Bacias Hidrográficas do Litoral Norte.

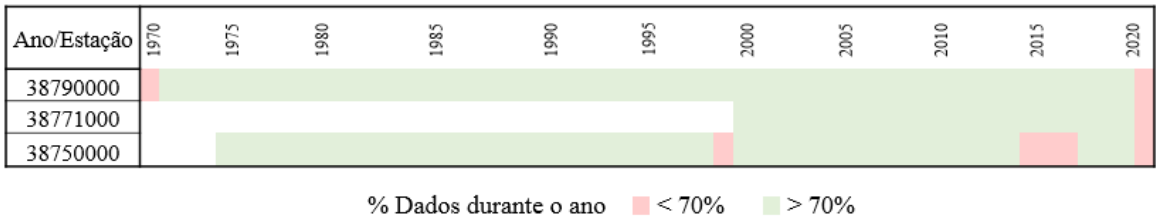
Estação / Parâmetro	Latitude	Longitude	Total de medições	pH	Turbidez	OD	Sólidos suspensão total	Sólidos dissolvidos totais	Cloretos	Nitrogênio Amoniacal	Nitratos	Clorofila	Alcalinidade total	Ortofosfato	Fósforo total	Escherichia Coli	Condutividade específica	Fitoplâncton quantitativo
38615000	-6,942	-35,678	12	12	12	12	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	12	6
38700000	-6,648	-35,121	14	14	14	14	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	14	6
38710900	-7,033	-35,760	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
38750000	-7,029	-35,468	23	23	13	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
38750001	-7,029	-35,468	13	9	9	9	1	1	3	6	6	3	3	6	6	1	9	3
38771000	-6,858	-35,401	28	25	18	24	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
38775000	-6,852	-35,295	16	16	16	16	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	16	6
38790000	-6,851	-35,163	28	27	16	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
38795000	-6,826	-35,086	11	11	11	11	2	2	6	7	7	6	6	7	7	2	11	6
38796000	-6,891	-34,936	14	14	14	14	2	2	6	10	10	6	6	10	10	2	14	6

Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.2.2 Análise de consistência de séries de vazão

Na **Tabela 2-8** está apresentada a análise de consistência das estações fluviométricas que possuem dados de vazão. Destaca-se que há um período concomitante de aproximadamente 15 anos sem falhas (entre 2000 e 2015).

Tabela 2-8. Análise de consistência dos dados das estações fluviométricas.



Fonte: Acervo próprio, 2022

2.4.3 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 BHLN, estão apresentados pela **Tabela 2-9**. É válido ressaltar que a unidade fisiográfica considerada para a determinação densidade mínima recomendada pela WMO foi a unidade de áreas costeiras.

Tabela 2-9. Recomendações do número de estações por unidade de área (km²), segundo a WMO e a ANA.

Tipo de monitoramento	Nº de postos na BH Camaratuba*	Nº de postos na BH Mamanguape*	Nº de postos na BH Miriri*	Critério WMO (km²)	Recomendação WMO (pontos)	Critério ANA (km²)	Recomendação ANA (postos)
Precipitação	8	42	2	9.000	2	-	-
Evaporação	0	1	0	50.000	1	-	-
Vazão	0	3	0	2.750	2	-	-
Qualidade da água	1	8	1	55.000	1	1.000	1 a 2

*Os valores apresentados são referentes às estações instaladas e que contém dados.

Fonte: Acervo próprio, 2022

Percebe-se que o número de estações pluviométricas é considerado como adequado para todas as bacias hidrográficas do Litoral Norte de acordo com os critérios propostos pela ANA e pela WMO. Entretanto, ao analisar a área de influência de cada uma das estações pluviométricas que possuem dados (**Figura 2-11**), percebe-se que existem regiões que carecem de dados monitorados. Esse é o caso da BH do rio Miriri, que possui apenas duas estações pluviométricas instaladas em sua área, sendo uma mais a montante, na divisa com a BH do rio Mamanguape, e outra situada mais próximo ao exutório. Como essa é uma região que se situa em uma zona de transição, entre o litoral que é mais úmido e o interior que é mais seco, é necessário o monitoramento da precipitação na região central da bacia de modo a caracterizar o regime hídrico da região de maneira mais eficiente.

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

BHLN e a necessidade de ter dados observados a fim de subsidiar estudos futuros acerca da disponibilidade de água.

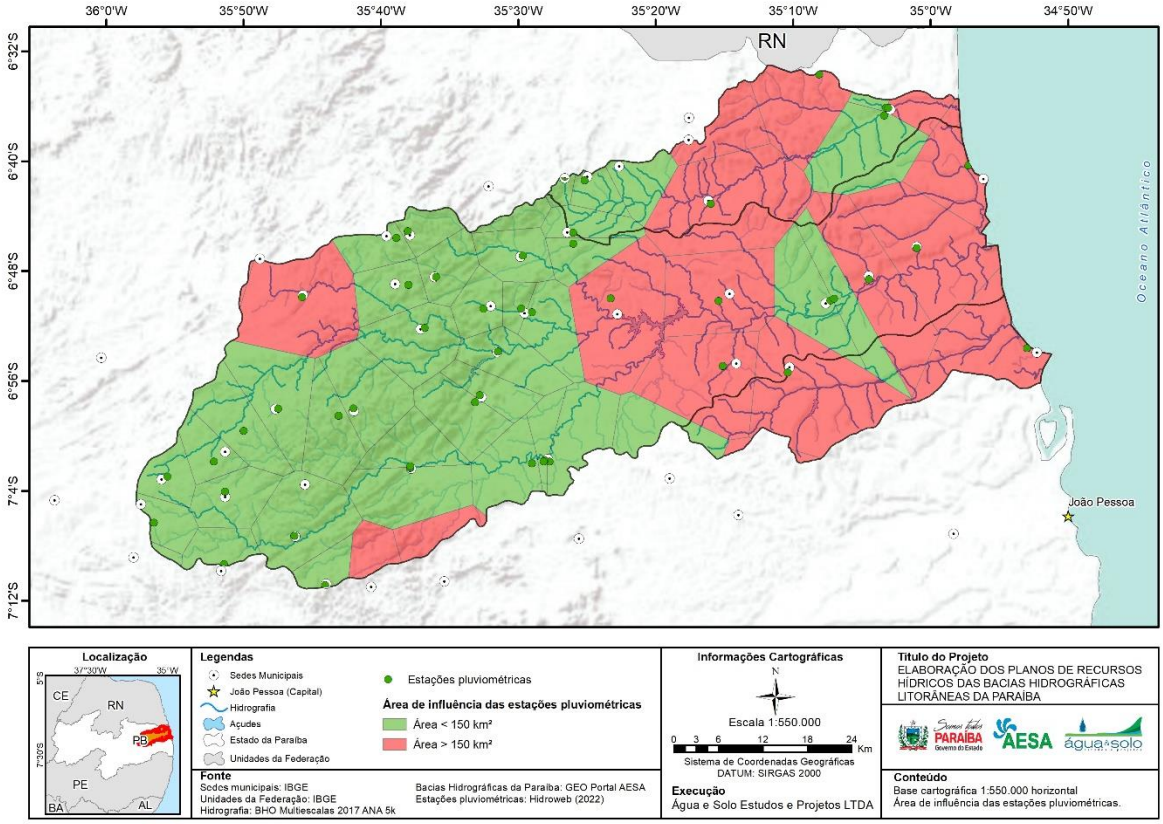


Figura 2-11. Área de influência de cada posto pluviométrico nas BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

O número de estações de monitoramento de qualidade da água das BHLN também é considerado como adequado tomando como base os critérios apresentados pela **Tabela 2-9**. Todavia, nesse caso, é válido destacar que as estações de qualidade da água existentes possuem apenas medições pontuais e séries históricas relativamente curtas.

Com relação às estações meteorológicas, necessárias para a determinação das taxas de evaporação na bacia, percebe-se uma grande lacuna nos dados. Há somente uma estação instalada na área das BHLN, denominada Areia (código - 82696), que fica localizada na BH do rio Mamanguape, próximo as cabeceiras dos principais cursos de água dessa bacia.

Quanto a estações fluviométricas, apenas a bacia do rio Mamanguape apresenta quantidade de postos adequados. Contudo, mesmo a bacia apresentando três postos fluviométricos, não há um monitoramento intensivo, dificultando a determinação das vazões de referência e da disponibilidade hídrica.

Nesse sentido, indica-se que o monitoramento das variáveis citadas 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 BHLN

A determinação do regime hidrológico é essencial para o direcionamento das ações relacionadas à gestão de recursos hídricos. Para isso, define-se a disponibilidade e 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, 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.

3.1 Modelagem hidrológica

Para a determinação das vazões de referência dos principais cursos de água das BHLN (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). Esse modelo permite realizar simulações dos processos de transformação da chuva em vazão em bacias hidrográficas dentríticas, 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.

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 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 bacias hidrográficas do Litoral Norte, ou seja, um modelo para a bacia do rio Camaratuba, um para a bacia do rio Mamanguape e outro para a bacia do rio Miriri (**Figura 3-1**, **Figura 3-2** e **Figura 3-3**). A apresentação das coordenadas limites dessas sub-bacias estão expostas pela **Tabela 3-1,** pela **Tabela 3-2** e **Tabela 3-3,** respectivamente, bem como uma breve descrição da área de cada uma delas.

Vale ressaltar que as áreas em branco fora dos limites das sub-bacias não têm 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.

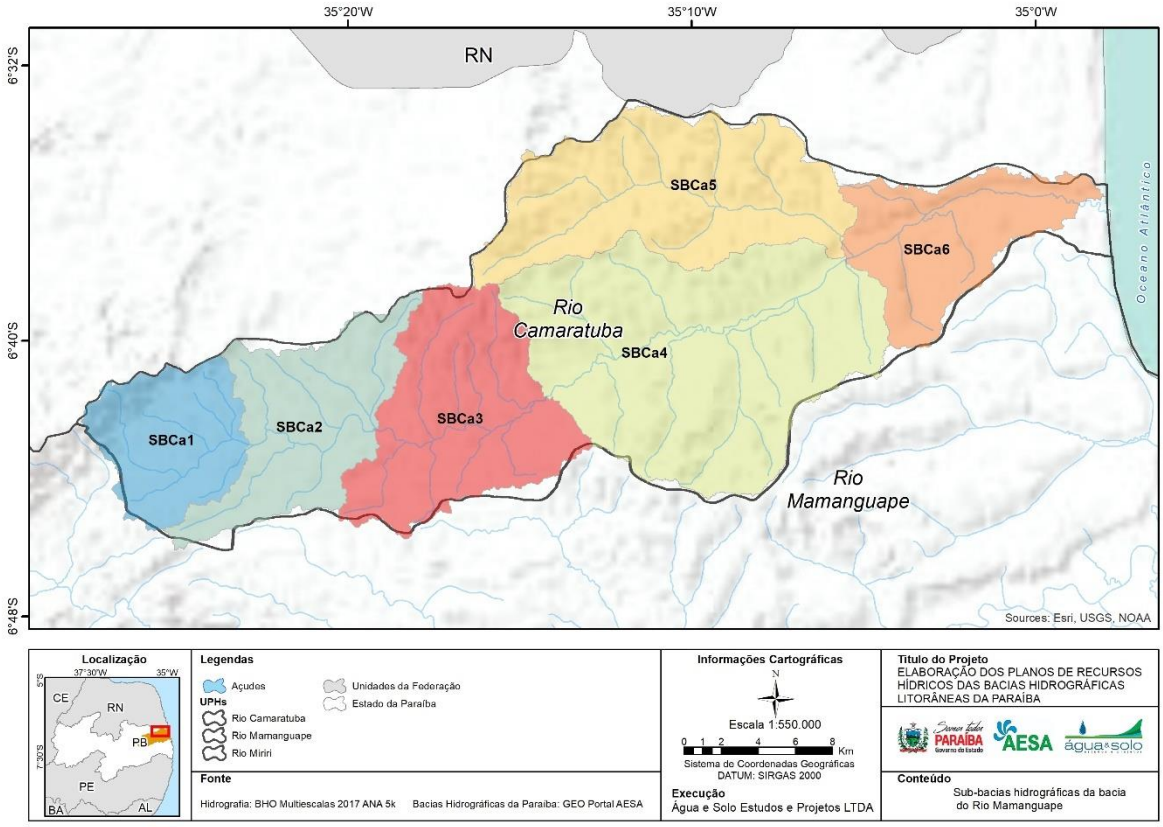


Figura 3-1. Divisão da bacia hidrográfica do rio Camaratuba em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 3-1. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba.

Subbacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBCa1	-6,673	-6,758	-35,381	-35,462	Área de drenagem referente ao ponto de encontro entre o rio Camaratuba e o riacho Maria da Cruz
SBCa2	-6,642	-6,767	-35,297	-35,423	Área de drenagem situada entre o encontro do rio Camaratuba e o riacho Maria da Cruz e aproximadamente 3km à jusante do encontro do rio Camaratuba e o riacho Baixa Verde
SBCa3	-6,638	-6,762	-35,214	-35,337	Área de drenagem situada à montante do ponto de encontro do rio Camaratuba e o riacho da Jussara, à exceção da área das sub-bacias SBCa1 e SBCa2
SBCa4	-6,612	-6,743	-35,070	-35,261	Área de drenagem referente ao ponto de encontro entre os rios Camaratuba e Caniarana, à exceção da área das sub-bacias SBCa1 a SBCa3
SBCa5	-6,552	-6,642	-35,086	-35,273	Área de drenagem referente ao rio da Pitanga
SBCa6	-6,582	-6,670	-34,965	-35,095	Área de drenagem do rio Camaratuba, à exceção das áreas das sub-bacias SBCa1 a SBCa5

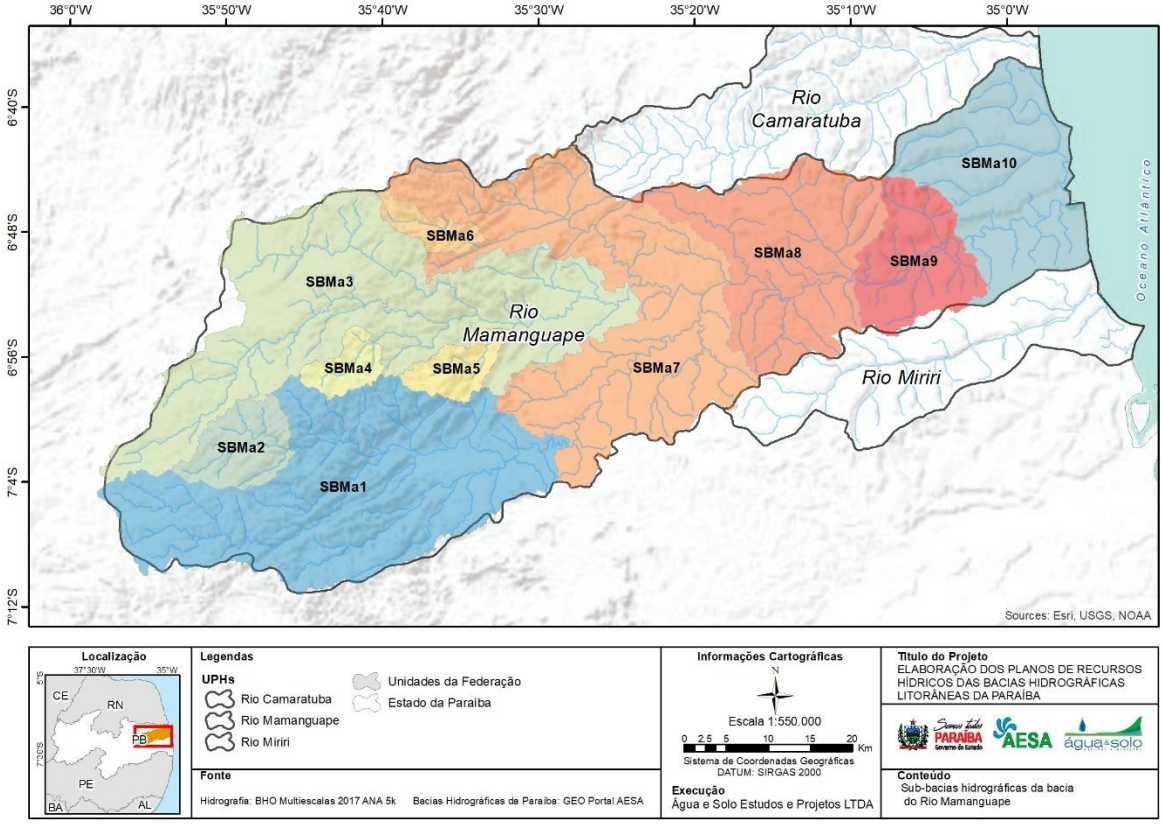


Figura 3-2. Divisão da bacia hidrográfica do rio Mamanguape em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 3-2. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape.

Subbacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBMa1	-6,951	-7,187	-35,466	-35,971	Área de drenagem situada à montante da estação fluviométrica 3875000, à exceção da área da sub-bacia SBMa2
SBMa2	-6,972	-7,076	-35,759	-35,891	Área de drenagem situada à montante do açude Nova Camará
SBMa3	-6,752	-7,069	-35,390	-35,969	Área de drenagem situada à montante da estação fluviométrica 38771000, à exceção das áreas das sub-bacias SBMa4 e SBMa5
SBMa4	-6,899	-6,979	-35,663	-35,756	Área de drenagem situada à montante do açude Saulo Maia
SBMa5	-6,901	-6,982	-35,537	-35,649	Área de drenagem situada à montante do açude Tauá
SBMa6	-6,755	-6,823	-35,555	-35,673	Área de drenagem situada à montante do açude Pirpirituba
SBMa7	-6,705	-7,074	-35,264	-35,664	Área de drenagem situada à montante do açude Araçagi, à exceção das áreas das sub-bacias SBMa1 a SBMa6
SBMa8	-6,717	-6,953	-35,126	-35,404	Área de drenagem situada à montante da estação fluviométrica 38790000, à exceção das áreas das sub-bacias SBMa1 a SBMa7
SBMa9	-6,738	-6,911	-35,020	-35,164	Área de drenagem situada entre a estação fluviométrica 38790000 e a confluência dos rio Mamanguape e o riacho Caibá

Subbacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBMa10	-6,613	-6,878	-34,910	-35,130	Área de drenagem da bacia do rio Mamanguape, à exceção da área das sub-bacias SBMa1 a SBMa9

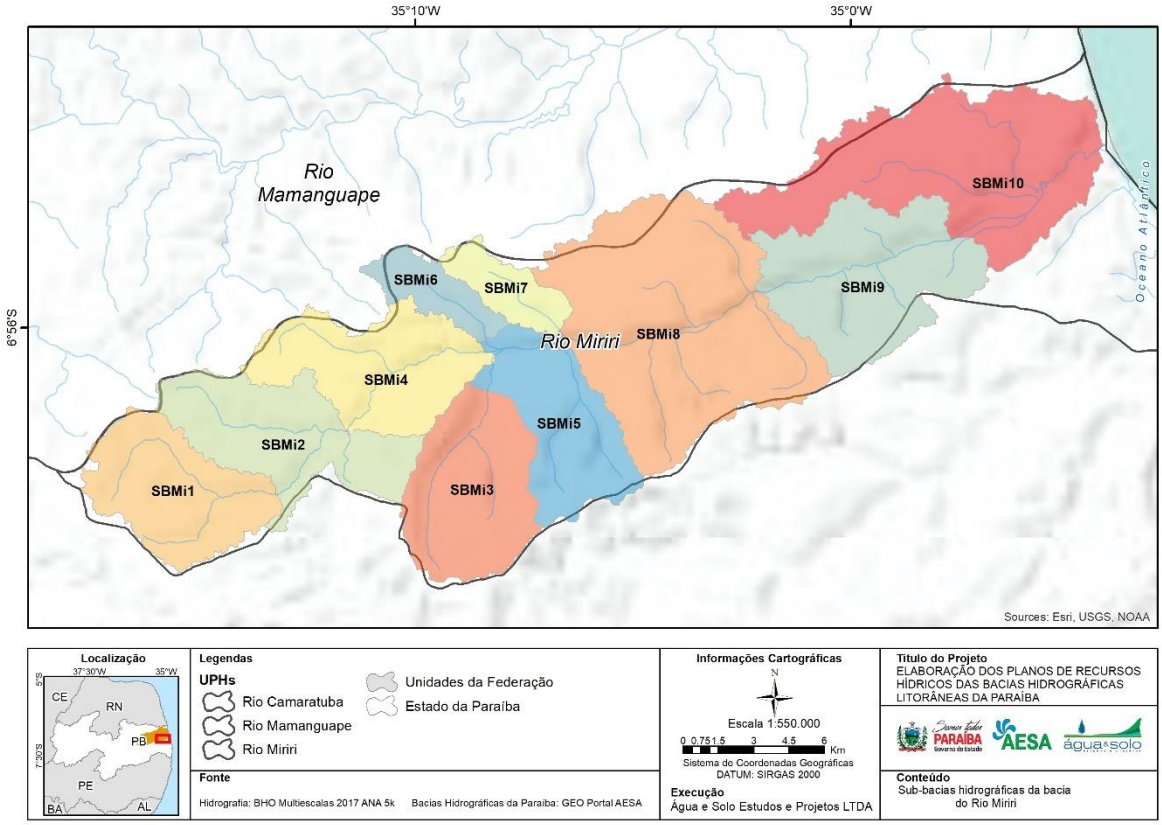


Figura 3-3. Divisão da bacia hidrográfica do rio Miriri em sub-bacias, para a aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS. Fonte: Acervo próprio, 2022

Tabela 3-3. Coordenadas dos limites de cada uma das sub-bacias do rio Miriri.

Subbacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
SBMi1	-6,963	-7,027	-35,217	-35,294	Área de drenagem situada à montante do açude Cassiano
SBMi2	-6,948	-7,011	-35,162	-35,266	Área de drenagem situada à montante do ponto de encontro entre o riacho da Gamela e o riacho Fundo do Vale, à exceção da área da sub-bacia SBMi1
SBMi3	-6,953	-7,030	-35,188	-35,172	Área de drenagem do riacho Curralinho
SBMi4	-6,920	-6,975	-35,136	-35,234	Área de drenagem do riacho Cana Brava, até o ponto de encontro desse curso de água com o riacho Curralinho e o riacho Pindoba, à exceção da área das sub-bacias SBMi1 a SBMi3
SBMi5	-6,931	-7,009	-35,079	-35,146	Área de drenagem referente ao ponto de encontro do riacho Curralinho com o riacho Carapucema, à exceção da área das sub-bacias SBMi1 a SBMi4
SBMi6	-6,901	-6,938	-35,130	-35,188	Área de drenagem do riacho Pindoba
SBMi7	-6,897	-6,936	-35,106	-35,158	Área de drenagem do riacho Carapucema
SBMi8	-6,880	-6,990	-35,007	-35,122	Área de drenagem referente ao ponto de encontro entre o riacho Miriri, o riacho Água Branca e o riacho Pé de Peru, à

Subbacia	Norte	Sul	Leste	Oeste	Descrição
					exceção da área das sub-bacias SBMi1 a SBMi7
SBMi9	-6,881	-6,952	-34,947	-35,039	Área de drenagem situada à montante do rio da Estiva, à exceção da área das sub-bacias SBMi1 a SBMi8
SBMi10	-6,836	-6,911	-34,902	-35,052	Área de drenagem da bacia do rio Miriri, à exceção da área das sub-bacias SBMi1 a SBMi9

A partir da definição das sub-bacias de interesse, foram determinados os métodos para representar as etapas do ciclo hidrológico. No caso em estudo, a escolha dos métodos foi realizada com base nos dados disponíveis para a definição dos parâmetros e as características físicas 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.

Etapa 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
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). Esse método 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 contínuas. 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), o método do *Déficit e Constante* 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).

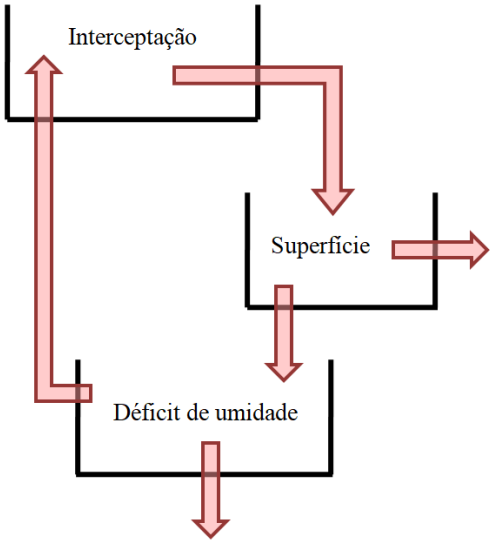


Figura 3-4. Esquema do modelo hidrológico adotado por esse estudo.
Fonte: COLLISCHONN e DORNELLES, 2013

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.

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

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.

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

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 do fluxo de base no HEC-HMS, esse é o único que conserva a massa dentro da 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 Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (2019). No caso em estudo, a evapotranspiração potencial para as BHLN foi determinada tomando como base as séries históricas das estações de João Pessoa (82798), Areia (82696) e Campina Grande (82795), de responsabilidade do INMET e que estão localizadas nas proximidades da região.

Os dados relativos à evapotranspiração mensal inseridos como entrada no modelo hidrológico estão apresentados pela **Tabela 3-5** e a **Figura 3-5.** Dessa forma, em cada uma das sub-bacias foram considerados os dados de evapotranspiração da estação meteorológica mais próxima.

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

Mês	Areia (mm)	João Pessoa (mm)	Campina Grande (mm)
Janeiro	139,4	123,2	152,4
Fevereiro	124,1	115,0	136,4
Março	130,8	127,4	143,1
Abril	110,7	116,0	123,0
Maio	96,9	109,6	109,1
Junho	81,2	97,4	91,5
Julho	85,4	100,8	95,8
Agosto	100,0	111,2	113,5
Setembro	114,8	113,4	128,7
Outubro	136,7	119,2	150,2
Novembro	138,9	115,5	150,3
Dezembro	144,2	121,5	154,5

Fonte: Acervo próprio, 2022

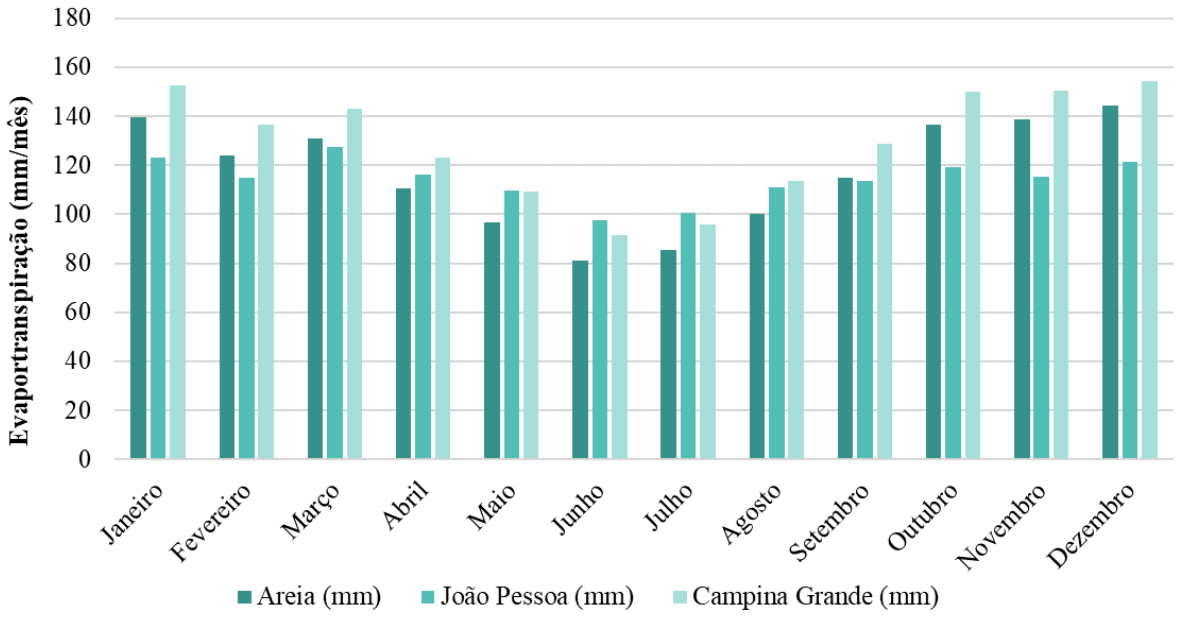


Figura 3-5. Evapotranspiração mensal considerada pelo modelo hidrológico.

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. 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 BHLN 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 possuíam dados (**Tabela 2-5**). 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, somente foi possível realizar a calibração dos parâmetros do modelo hidrológico referente à bacia hidrográfica do rio Mamanguape, pois somente essa bacia hidrográfica possuía dados de vazões observadas. Os parâmetros que foram calibrados foram: i) o déficit inicial (mm); ii) o déficit máximo (mm); iii) a taxa de infiltração (mm/h); iv) o armazenamento inicial (%); v) o armazenamento máximo do dossel (mm); vi) fração do escoamento em cada reservatório; e vii) coeficiente relativo ao tempo de resposta do fluxo de água subterrânea na bacia (h).

Os parâmetros referentes ao método de transformação da chuva em vazão (*Hidrograma Unitário de Clark*) e de propagação do escoamento (*Muskingum-Cunge*) não foram calibrados, sendo as estimativas iniciais dos valores desses parâmetros obtidas considerando características físicas das sub-bacias.

A calibração dos parâmetros foi feita com base nas séries históricas de vazão referentes às três estações fluviométricas que estão instaladas na bacia do rio Mamanguape, sendo elas: Mulungu (38750000), Sítio Passagem (38771000) e Ponte do Leitão (38790000). O período da série histórica definido para se realizar a calibração do modelo foi quando este apresentasse um longo período de dados sem falhas e que a série fosse consistida. Além disso, ao escolher o período,

também se optou por utilizar um que fosse relativamente recente e comum às três séries. Dessa forma, o período utilizado para calibração do modelo em cada um dos sensores está apresentado pela **Tabela 3-6**.

Tabela 3-6. Período utilizado para calibração do modelo hidrológico no HEC-HMS.

Estação	Início	Final
Mulungu	01/01/2004	01/01/2006
Sítio Passagem	31/05/2004	31/05/2006
Ponte do Leitão	06/07/2005	04/08/2011

Fonte: Acervo próprio, 2022

A calibração foi feita de forma automática pelo algoritmo de otimização denominado *Simplex*, utilizando como função objetivo a minimização da soma dos quadrados dos resíduos com uma tolerância de 0,001 e um máximo de 10000 iterações. Após realizar a calibração do modelo, as métricas estatísticas utilizadas para análise de seu desempenho foram: i) a raiz do erro quadrático médio normalizado pelo desvio padrão da observação (RSR – Equação 3); ii) o viés (Equação 4); e iii) o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS – Equação 5). Essas métricas de avaliação são utilizadas a fim de verificar a qualidade de simulações hidrológicas e seus valores são gerados automaticamente ao executar o modelo no HEC-HMS.

$$RSR = \frac{RMSE}{\sigma}\sqrt{\frac{\sum(Q_{obs} - Q_{calc})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}} \quad (3)$$

$$Viés = 100 * \frac{\sum Q_{obs} - \sum Q_{calc}}{\sum Q_{obs}} \quad (4)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{calc}(t) - Q_{obs}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (5)$$

Sendo:

$Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no intervalo de tempo t (m³/s)

$Q_{calc}(t)$ é a vazão calculada no intervalo de tempo t (m³/s)

$\overline{Q_{obs}}$ é a média das vazões observadas (m³/s)

O RSR normaliza o erro médio quadrático (RMSE) a partir do desvio padrão da série observada. Isso permite comparar o desempenho de simulações realizadas em bacias hidrográficas diferentes tomando como base o valor desse parâmetro. A magnitude do RSR pode variar entre 0 e +∞.

O viés mede a tendência média das vazões calculadas em serem maiores ou menores do que as vazões observadas. Valores positivos para essa métrica de desempenho indicam uma tendência do modelo em subestimar os dados observados, enquanto que valores negativos indicam uma

tendência de superestimar (GUPTA *et al.*, 1999). Para um modelo ser considerado como perfeito os valores do RSR e do viés devem ser iguais a zero.

A última métrica de eficiência avaliada foi o coeficiente de Nash-Sutcliffe, que é uma das métricas mais utilizadas com a finalidade de avaliar o desempenho de simulações hidrológicas (NASH & SUTCLIFFE, 1970). Seu valor varia de -∞ a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é o ajuste dos dados gerados pelo modelo com os dados observados. É uma métrica que mede o quanto o modelo é melhor do que a média das vazões, sendo mais sensível a erros nas vazões máximas do que nas vazões mínimas.

Na **Tabela 3-7** está apresentada a classificação proposta por Moriasi *et al.* (2007) referente à qualidade das simulações realizadas, conforme os valores obtidos para cada uma das métricas de desempenho avaliadas.

Tabela 3-7. Classificação das simulações conforme os resultados relativos às métricas de desempenho.

Performance	RSR	NS	Viés (%)
Muito bom	$0 \leq RSR \leq 0,5$	$0,75 < NS \leq 1$	Viés < ±10%
Bom	$0,5 < RSR \leq 0,6$	$0,65 < NS \leq 0,75$	$\pm10 \leq$ Viés < ±15
Satisfatório	$0,6 < RSR \leq 0,7$	$0,5 < NS \leq 0,65$	$\pm15 \leq$ Viés < 25
Insatisfatório	$RSR > 0,7$	$NS \leq 0,5$	Viés ≥ ±25

Fonte: Moriasi et al. (2007).

Por meio da comparação dos resultados da calibração do modelo hidrológico da bacia do rio Mamanguape (**Tabela 3-8**) com os limiares apresentados pela **Tabela 3-7**, pode ser constatado que as simulações realizadas para os sensores de Mulungu e Sítio Passagem obtiveram desempenho "Muito bom" em todas as métricas de desempenho. Já a simulação do sensor Ponte do Leitão para as métricas do viés e do RSR apresentaram desempenho "Satisfatório" e para o coeficiente de Nash-Sutcliffe o desempenho foi "Bom".

Tabela 3-8. Resultados das métricas de desempenho para cada uma das estações fluviométricas.

Estação	RSR	NS	Viés
Mulungu	0,5	0,708	-3,87%
Sítio Passagem	0,5	0,723	9,00%
Ponte do Leitão	0,6	0,672	15,49%

Fonte: Acervo próprio, 2022

Os hidrogramas resultantes da calibração do modelo referentes à cada uma das estações fluviométricas estão apresentados pelas **Figura 3-6**, **Figura 3-7** e **Figura 3-8**.

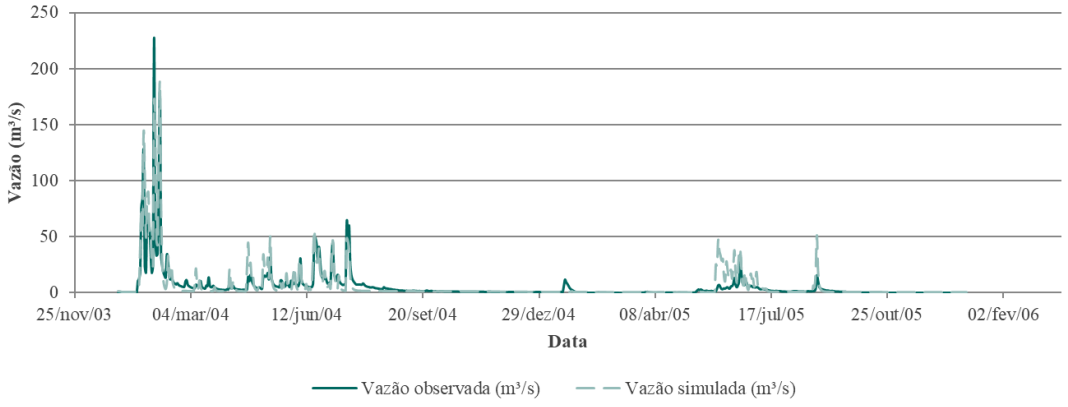


Figura 3-6. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica de Mulungu (38750000)
Fonte: Acervo próprio, 2022

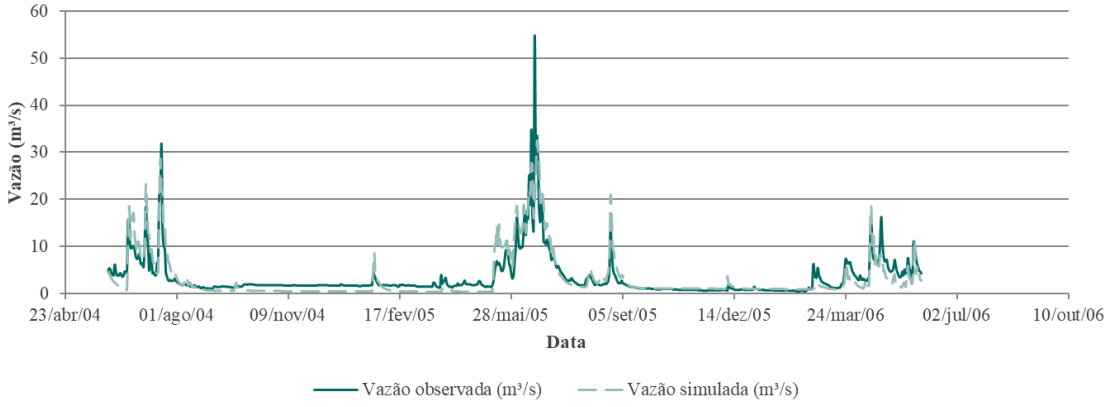


Figura 3-7. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica de Sítio Passagem (38771000)
Fonte: Acervo próprio, 2022

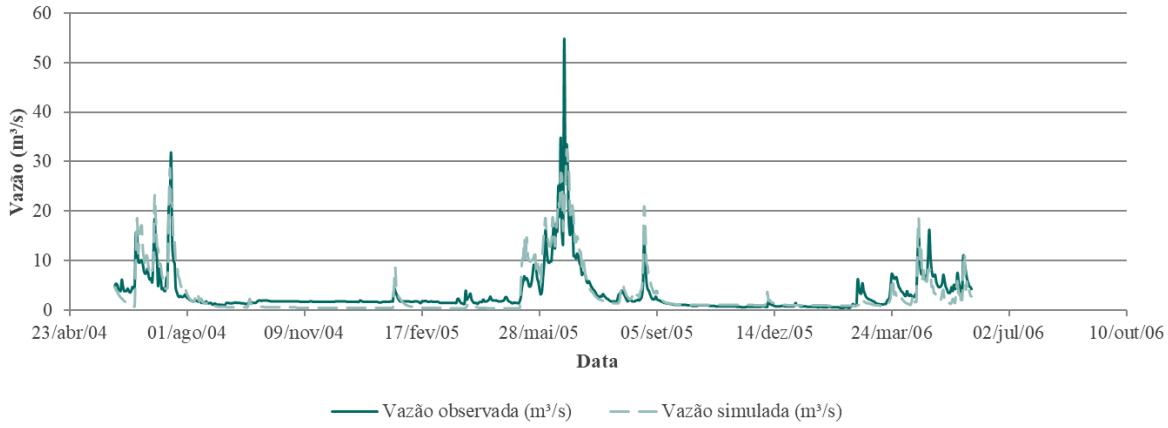


Figura 3-8. Hidrograma simulado e observado referente à estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000)
Fonte: Acervo próprio, 2022

É válido ressaltar que durante a calibração do modelo, foi desconsiderado um pico de vazão registrado pela estação de Mulungu, que ocorreu em 17 de junho de 2004. Nesse dia, a estação fluviométrica registrou um valor de 310 m³/s, valor muito acima de todos os outros da série histórica. Ao realizar pesquisas sobre esse evento, foi constatado que nesse dia ocorreu o rompimento da barragem de Nova Camará e, dessa forma, o elevado valor de vazão foi resultado da propagação de uma onda de cheia pela bacia hidrográfica. Por esse motivo, esse valor foi removido da série histórica de forma a não influenciar nos resultados.

Com relação aos parâmetros do modelo hidrológico das bacias dos rios Camaratuba e Miriri, esses foram determinados a partir da regionalização dos valores da bacia do rio Mamanguape, considerando características de similaridade hidrológica e de informações provenientes do Plano Estadual de Recursos Hídricos. A partir desses dados, foi possível determinar as vazões de referência para as duas bacias.

Sendo assim, os valores dos parâmetros que foram calibrados para as sub-bacias do rio Mamanguape (déficit inicial (mm), déficit máximo (mm), a taxa de infiltração (mm/h), armazenamento inicial (%), armazenamento máximo do dossel (mm), fração do escoamento em cada reservatório e coeficiente relativo ao tempo de resposta do fluxo de água subterrânea na bacia (h)), foram regionalizados para as sub-bacias dos rios Camaratuba e Miriri. Os valores dos parâmetros para cada uma das sub-bacias dos rios Camaratuba e Miriri foram então obtidos a partir dos valores dos parâmetros da sub-bacia do rio Mamanguape localizada mais próxima a ela.

Já os valores dos parâmetros que não foram calibrados (referentes ao método de transformação da chuva em vazão e da propagação do escoamento) foram determinados a partir de características físicas das bacias hidrográficas. Ressalta-se que foi necessário realizar a regionalização dos parâmetros do modelo devido à falta de dados tanto de vazões observadas quanto de tipos e cobertura do solo, o que dificulta a determinação de vazões de referência.

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, ressalta-se a importância da existência de uma rede de monitoramento fluviométrico contínua nos principais rios e pontos de interesse das BHLN. 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 Camaratuba, Mamanguape e Miriri foram geradas a partir das séries históricas de dados observados de vazão, a partir de sensores fluviométricos e tomando como base o 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 BHLN, 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.

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, o potencial hídrico foi representado pela média dos escoamentos naturais anuais, ou seja, as vazões médias anuais considerando os padrões de usos consuntivos de águas nas BHLN. 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* (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019a), 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 adotados por esse estudo são demonstrados na **Tabela 3-9**.

Tabela 3-9. Coeficientes de retorno dos principais usos consuntivos da água.

Uso Consuntivo de Água	Coeficiente 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 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMETO BÁSICO, 2019).

Nas próximas seções do texto estão apresentadas as disponibilidades e potencialidades referentes aos principais cursos de água das bacias dos rios Mamanguape, Camaratuba e Miriri, respectivamente.

3.2.1 Bacia hidrográfica do rio Mamanguape

3.2.1.1 Disponibilidades

Como haviam postos fluviométricos instalados na área da bacia hidrográfica do rio Mamanguape, a determinação das vazões de permanência para as sub-bacias localizadas à montante desses postos foi feita com base nas séries históricas de vazões observadas. Utilizar métodos que se baseiam em dados de vazões observadas para determinar os valores das vazões de permanência resultam em menores incertezas associadas aos resultados do que os métodos que estimam as vazões a partir de modelos chuva-vazão (SANTOS *et al.*, 2001).

Os valores das disponibilidades hídricas (Q_{90}) para as sub-bacias SB1 a SB8 apresentados pela **Tabela 3-10** foram determinados com base nas séries históricas dos postos fluviométricos de Mulungu, Sítio Passagem e Ponte do Leitão e consideraram apenas os anos que não possuíam falhas nos dados registrados.

Já os valores das disponibilidades hídricas apresentados na **Tabela 3-10**, e que são relativos às sub-bacias S9 e S10, foram obtidos a partir da regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico calibrado para a área situada à montante da bacia hidrográfica do rio Mamanguape. O período considerado para a elaboração da série histórica de vazões simuladas destas sub-bacias foi de 1994 a 2018, período em que muitas estações pluviométricas foram instaladas na região. Isto é, consideraram-se as precipitações ocorridas entre 1994 e 2018, a fim de determinar as vazões Q_{90} nas sub-bacias S9 e S10.

Tabela 3-10. Disponibilidade hídrica (Q_{90}) de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia (km²)	Q_{90} (m³/s)	Q_{90} específica (m³/s.km²)
SBMa1	Alto Mamanguape	772,35	0,26	0,0003
SBMa2	Açude Nova Camará	101,78	0,03	0,0003
SBMa3	Rio Araçagi	801,92	0,06	0,00007
SBMa4	Açude Saulo Maia	47,20	0,003	0,00006
SBMa5	Açude Tauá	57,67	0,004	0,00007
SBMa6	Açude Pirpituba	42,25	0,004	0,00009
SBMa7	Açude Araçagi	717,47	0,22	0,0003
SBMa8	Médio Mamanguape	408,07	0,26	0,0006
SBMa9	Médio Baixo Mamanguape	186,68	1,08	0,0058

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia (km²)	Q_{90} (m³/s)	Q_{90} específica (m³/s.km²)
SBMa10	Baixo Mamanguape	375,26	1,08	0,0029

Fonte: Acervo próprio, 2022

Destaca-se que as bacias com maior disponibilidade de água são a SB9 (Médio Baixo Mamanguape, com Q_{90} de 0,0058 m³/s.km²) e SB10 (Baixo Mamanguape, com Q_{90} de 0,0029 m³/s.km²). As sub-bacias que demonstraram menor disponibilidade de água foram as bacias SB1 (Rio Araçagi), SB4 (Açude Saulo Maia), SB5 (Açude Tauá) e SB6 (Açude Pirpituba). A **Figura 3-9** exibe a disponibilidade de produção de água específica de cada sub-bacia (Q_{90}).

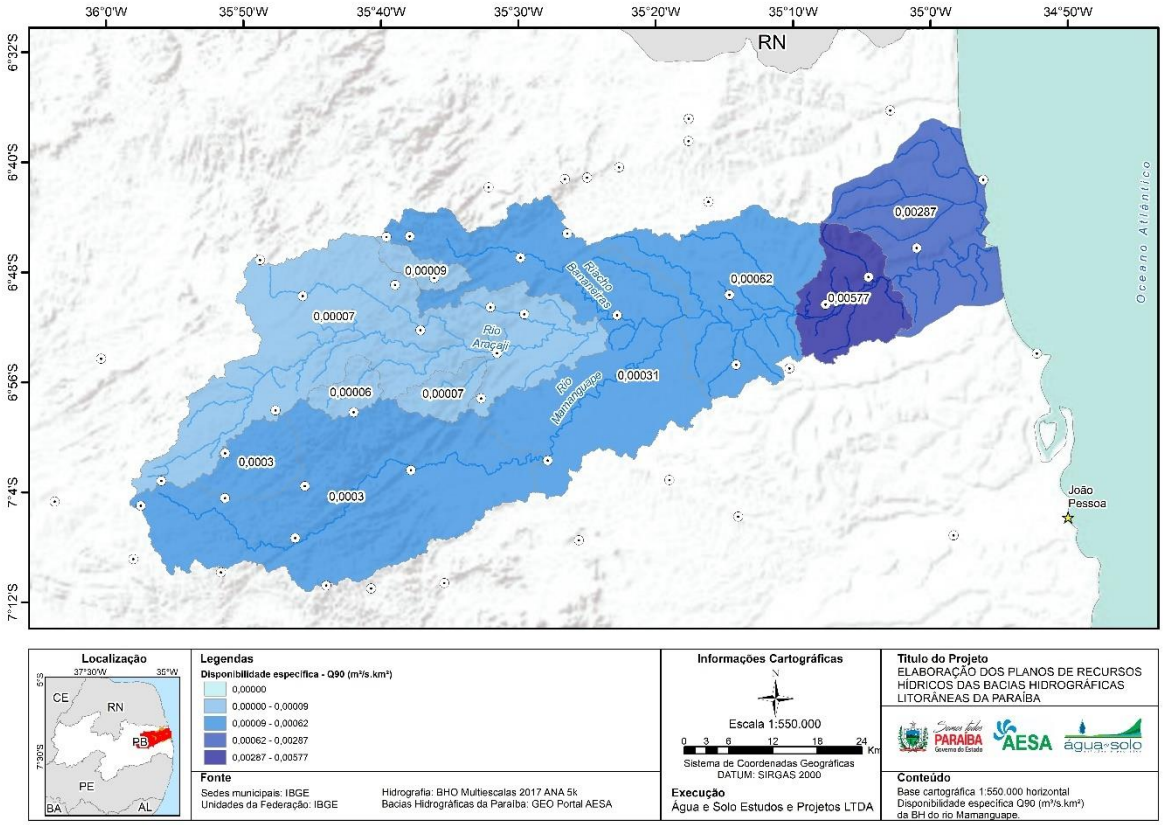


Figura 3-9. Disponibilidade (Q_{90}) específica (m³/s.km²) para as sub-bacias do rio Mamanguape.

Por fim, estão apresentadas pelas **Figura 3-10, Figura 3-11 e Figura 3-12** as curvas de permanência elaboradas a partir das séries históricas para os sensores fluviométricos de Mulungu, Sítio Passagem e Ponte do Leitão, respectivamente.

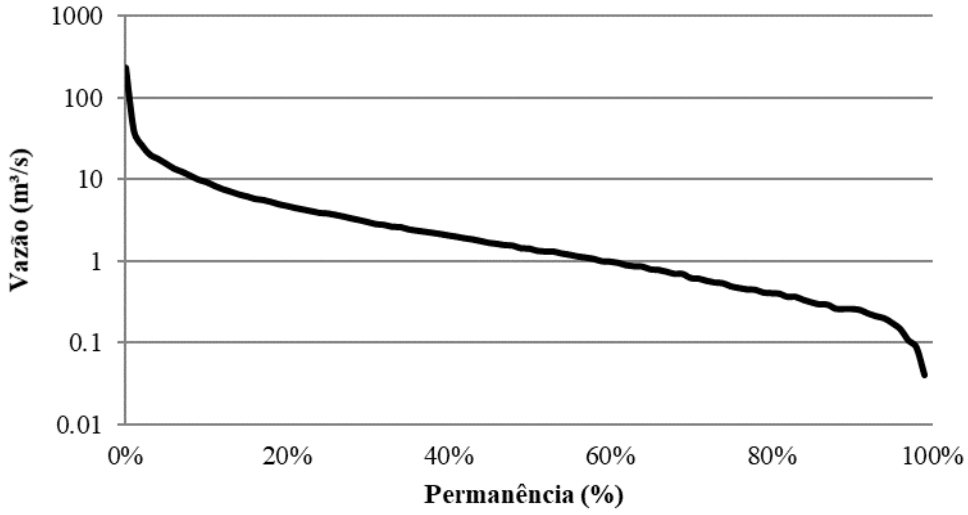


Figura 3-10. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Mulungu (38750000).

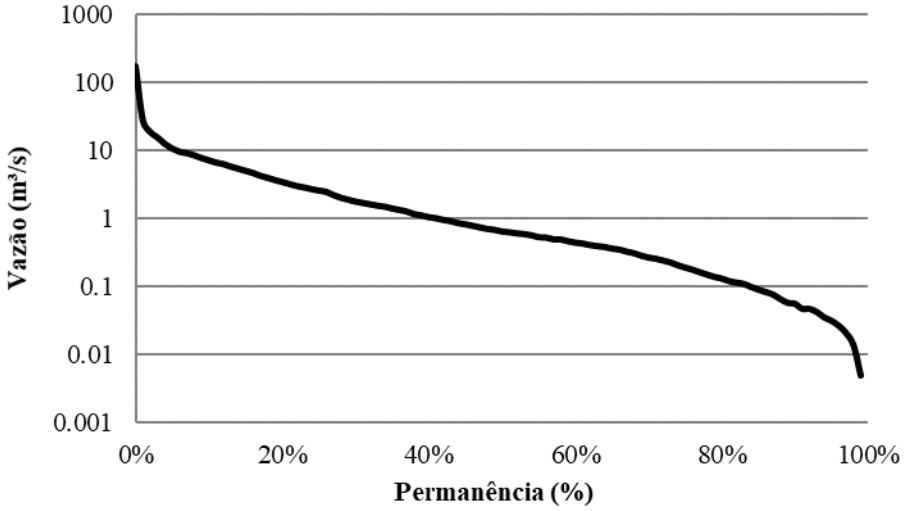


Figura 3-11. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Sítio Passagem (38771000).

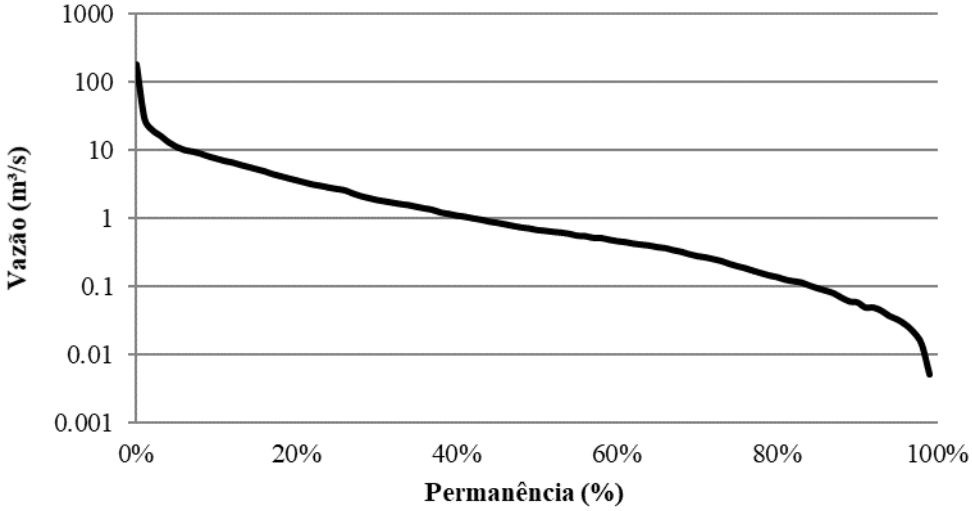


Figura 3-12. Curva de permanência elaborada a partir dos dados da estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000).

3.2.1.2 Potencialidades

A potencialidade hídrica ($Q_{média}$) de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape está apresentada pelos dados da **Tabela 3-11**. Destaca-se que, nesse caso, as potencialidades das sub-bacias SB1 a SB8 foram determinadas a partir da análise dos dados das séries históricas de vazões observadas das estações fluviométricas Mulungu, Sítio Passagem e Ponte do Leitão, considerando também um balanço entre as retiradas de água para os mais diversos usos e a parcela que retorna aos cursos hídricos após seu uso. Já os valores apresentados para as sub-bacias SB9 e SB10, foram obtidos a partir das séries históricas geradas pelo modelo hidrológico HEC-HMS e também consideram um balanço entre as retiradas e retorno de água.

Tabela 3-11. Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Mamanguape.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia(km²)	$Q_{média}$ (m³/s)	$Q_{média}$ específica (m³/s.km²)
SBMa1	Alto Mamanguape	772,35	4,08	0,005
SBMa2	Açude Nova Camará	101,78	0,56	0,005
SBMa3	Rio Araçagi	801,92	2,86	0,004
SBMa4	Açude Saulo Maia	47,20	0,15	0,003
SBMa5	Açude Tauá	57,67	0,19	0,003
SBMa6	Açude Pirpituba	42,25	0,22	0,005
SBMa7	Açude Araçagi	717,47	3,58	0,005
SBMa8	Médio Mamanguape	408,07	2,29	0,006
SBMa9	Médio Baixo Mamanguape	186,68	1,263	0,007
SBMa10	Baixo Mamanguape	375,26	1,974	0,005

Fonte: Acervo próprio, 2022

Na **Figura 3-13** estão apresentadas as potencialidades específicas para cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape.

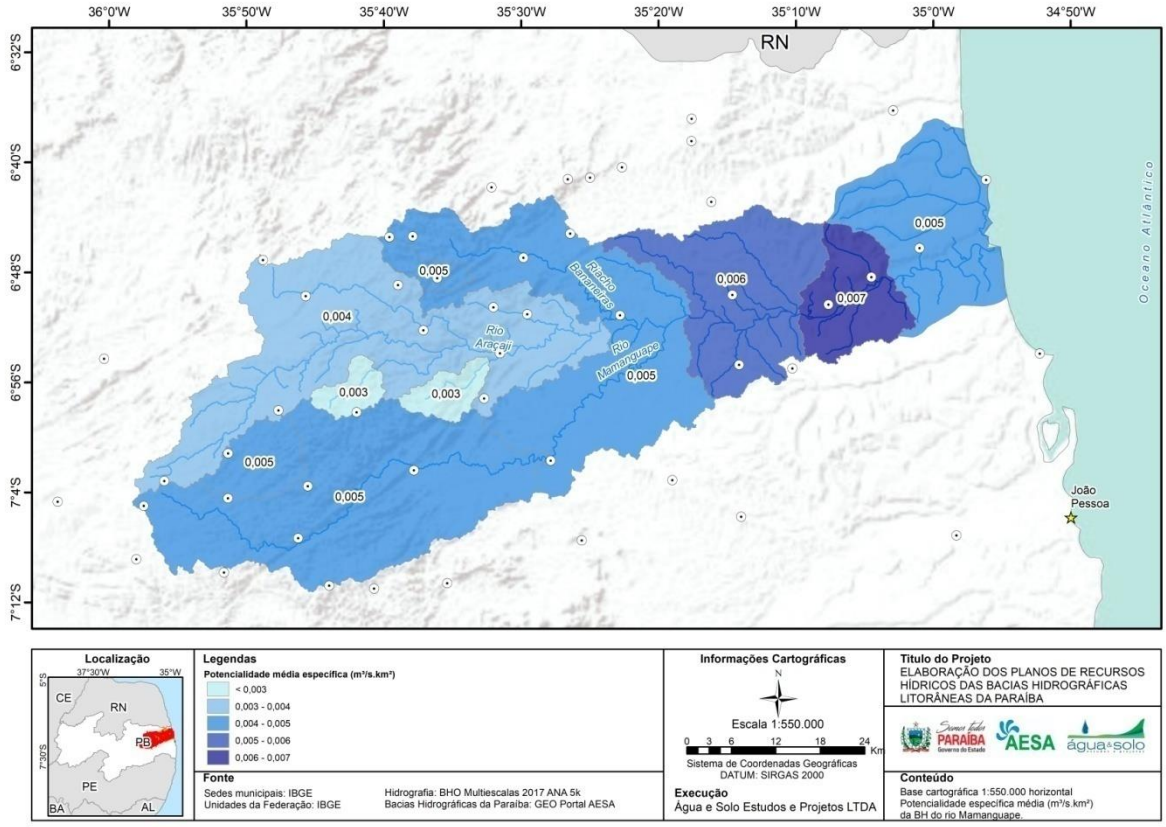


Figura 3-13. Potencialidade média específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Mamanguape.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.2.2 Bacia hidrográfica do rio Camaratuba

3.2.2.1 Disponibilidades

Diferentemente da bacia hidrográfica do rio Mamanguape, que possui dados de vazão observada em alguns trechos de drenagem, na bacia hidrográfica do rio Camaratuba não há dados registrados. Dessa forma, a determinação das vazões de permanência para essa bacia foi realizada com base na regionalização dos valores dos parâmetros obtidos para as sub-bacias do rio Mamanguape, considerando características de similaridade hidrológica. Além da regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico do HEC-HMS, também foram utilizados dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos como, por exemplo, as abstrações iniciais da água da chuva, que considera os diferentes tipos de cobertura vegetal e de solo, e a capacidade de saturação do solo.

Dessa forma, a disponibilidade de produção de água em cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba foi obtida por meio do modelo hidrológico do HEC-HMS. Os valores das vazões Q_{90} estão apresentados pela **Tabela 3-12**, as disponibilidades específicas de cada uma das sub-

bacias está demonstrada de forma gráfica pela **Figura 3-14** e a **Figura 3-15** apresenta a curva de permanência no exutório da bacia.

Tabela 3-12. Disponibilidade de produção de água em cada sub-bacia do rio Camaratuba.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia (km²)	Q_{90} (m³/s)	Q_{90} específica (m³/s.km²)
SBCa1	Alto Camaratuba	55,54	0,018	0,0003
SBCa2	Médio Alto Camaratuba	78,48	0,011	0,0001
SBCa3	Médio Camaratuba	101,34	0,0082	0,00008
SBCa4	Médio Baixo Camaratuba	194,24	0,085	0,0004
SBCa5	Rio da Pitanga	121,19	0,15	0,001
SBCa6	Baixo Camaratuba	67,68	0,021	0,0003

Fonte: Acervo próprio, 2022

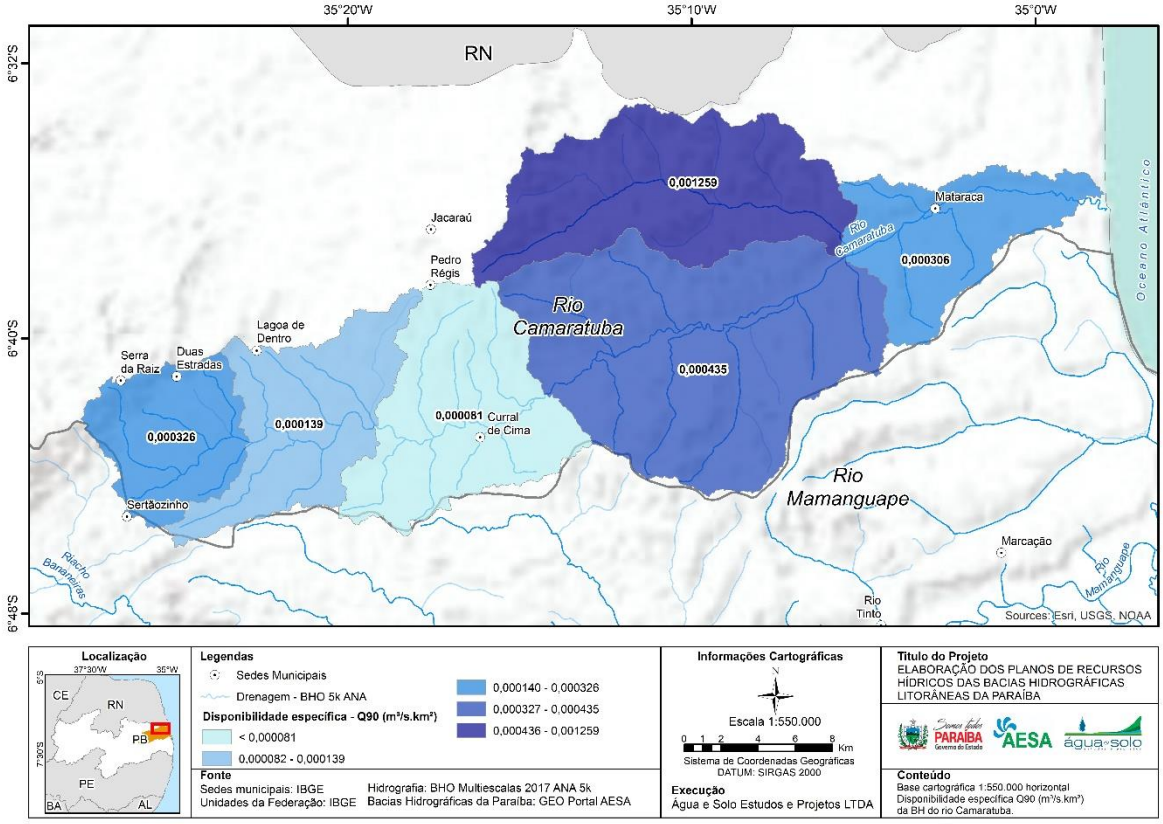


Figura 3-14. Disponibilidade específica (Q_{90}) para cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba.
Fonte: Acervo próprio, 2022

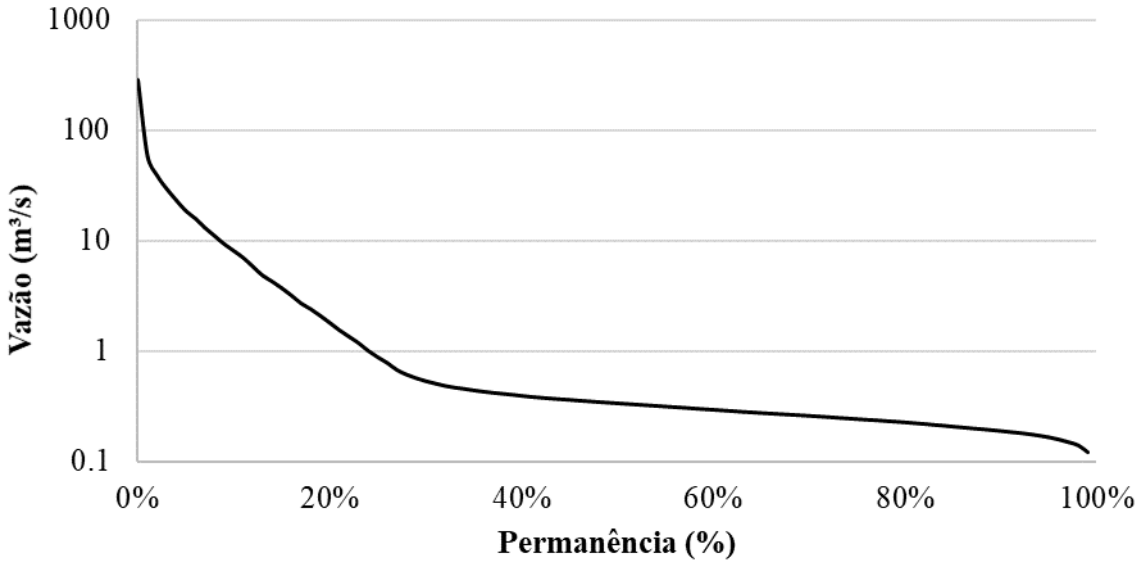


Figura 3-15 Curva de permanência no exutório da bacia do rio Camaratuba.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.2.2.2 Potencialidades

Da mesma forma que as disponibilidades, as potencialidades hídricas do rio Camaratuba foram estimadas por meio do uso do modelo hidrológico HEC-HMS, já que nessa bacia hidrográfica não existem estações fluviométricas instaladas que permitam o cálculo das vazões a partir de dados observados. Para obtenção desses valores, também foram consideradas as retiradas de água para os mais diversos usos consuntivos da bacia e a parcela de água que retorna ao curso hídrico após esse uso.

A **Tabela 3-13** apresenta a vazão média de cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba. Já na **Figura 3-16** está demonstrado de forma gráfica a potencialidade específica para cada uma delas.

Tabela 3-13. Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Camaratuba.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia(km²)	$Q_{média}$ (m³/s)	$Q_{média}$ específica (m³/s.km²)
SBCa1	Alto Camaratuba	55,54	0,35	0,0063
SBCa2	Médio Alto Camaratuba	78,48	0,37	0,0047
SBCa3	Médio Camaratuba	101,34	0,51	0,0051
SBCa4	Médio Baixo Camaratuba	194,24	1,51	0,0078
SBCa5	Rio da Pitanga	121,19	1,17	0,0097
SBCa6	Baixo Camaratuba	67,68	0,45	0,0067

Fonte: Acervo próprio, 2022

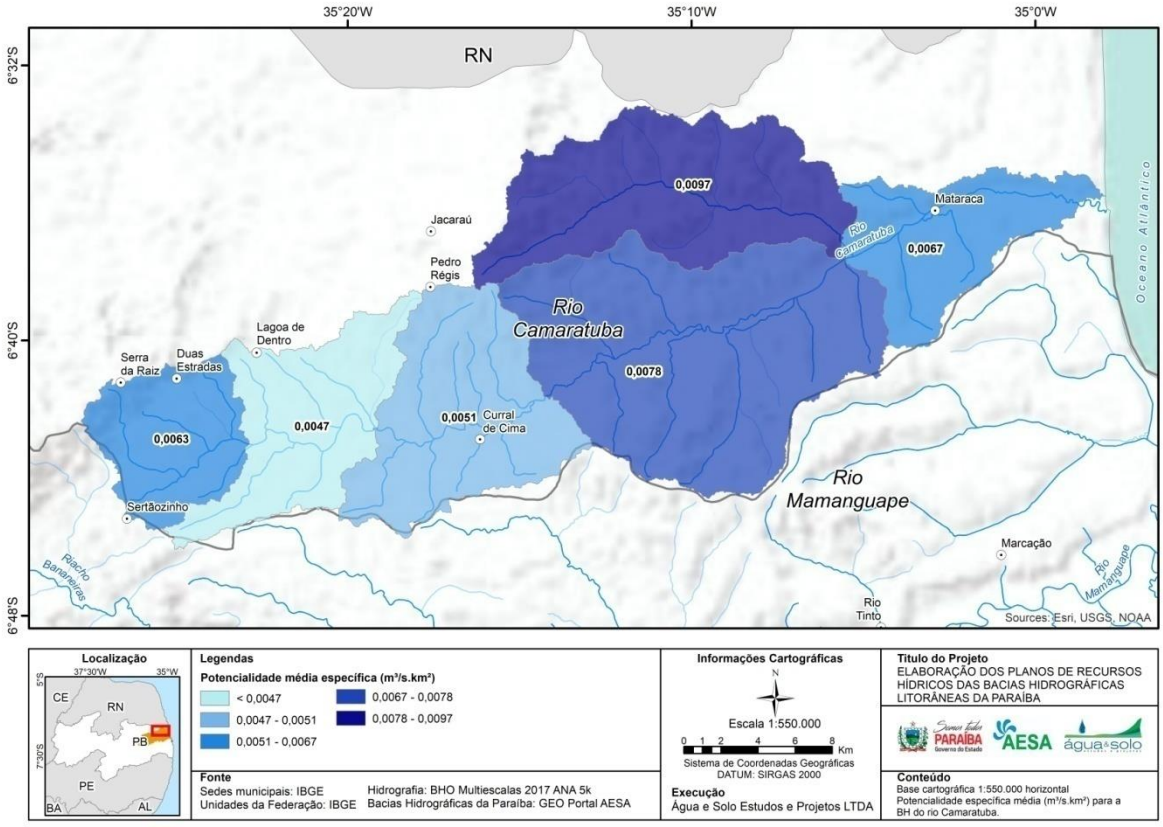


Figura 3-16. Potencialidade específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Camaratuba.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.2.3 Bacia hidrográfica do rio Miriri

3.2.3.1 Disponibilidade

Da mesma forma que a bacia hidrográfica do rio Camaratuba, a bacia do rio Miriri não possui estação fluviométrica com dados observados de vazão. Sendo assim, os valores das vazões de permanência para essa bacia hidrográfica foram determinados pelo modelo hidrológico HEC-HMS, tomando como base a regionalização dos valores dos parâmetros obtidos para as sub-bacias do rio Mamanguape, assim como para a bacia do rio Camaratuba. Os valores das vazões da Q_{90} estão apresentados pela **Tabela 3-14**, as vazões Q_{90} específicas estão apresentados de forma gráfica pela **Figura 3-17** .

Tabela 3-14. Disponibilidade (Q_{90}) hídrica em cada sub-bacia do rio Miriri.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia(km²)	Q_{90} (m³/s)	Q_{90} específica (m³/s.km²)
SBMi1	Açude Cassiano	32,98	0,023	0,00068
SBMi2	Riacho Fundo do Vale	37,12	0,012	0,00033
SBMi3	Açude Curralinho	36,32	0,032	0,00088
SBMi4	Alto Miriri	35,98	0,008	0,00022
SBMi5	Médio Miriri	30,80	0,012	0,00040
SBMi6	Açude Pindoba	10,50	0,010	0,00094
SBMi7	Açude Carapucema	10,69	0,011	0,00098
SBMi8	Médio Baixo Miriri	84,33	0,023	0,00028
SBMi9	Baixo Miriri	46,53	0,011	0,00024
SBMi10	Foz Miriri	67,41	0,014	0,00020

Fonte: Acervo próprio, 2022

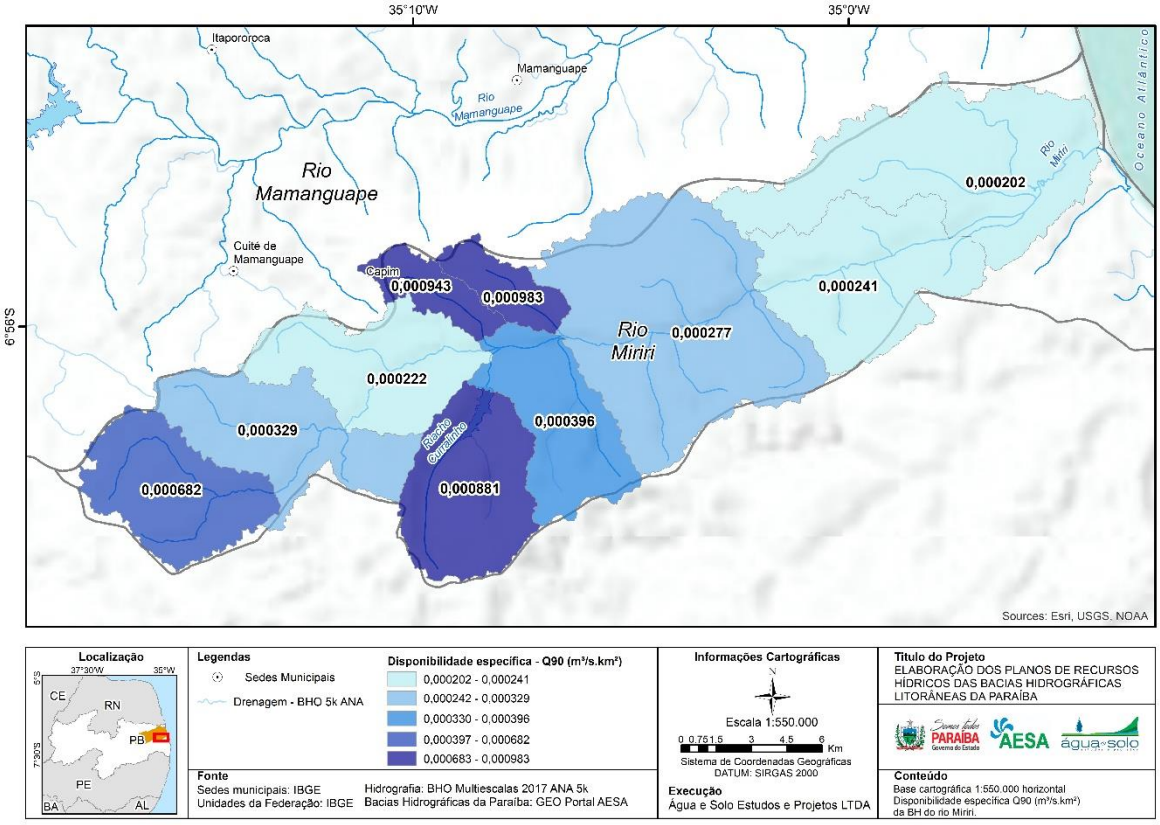


Figura 3-17. Disponibilidade específica (Q_{90}) para cada uma das sub-bacias do rio Miriri.
Fonte: Acervo próprio, 2022

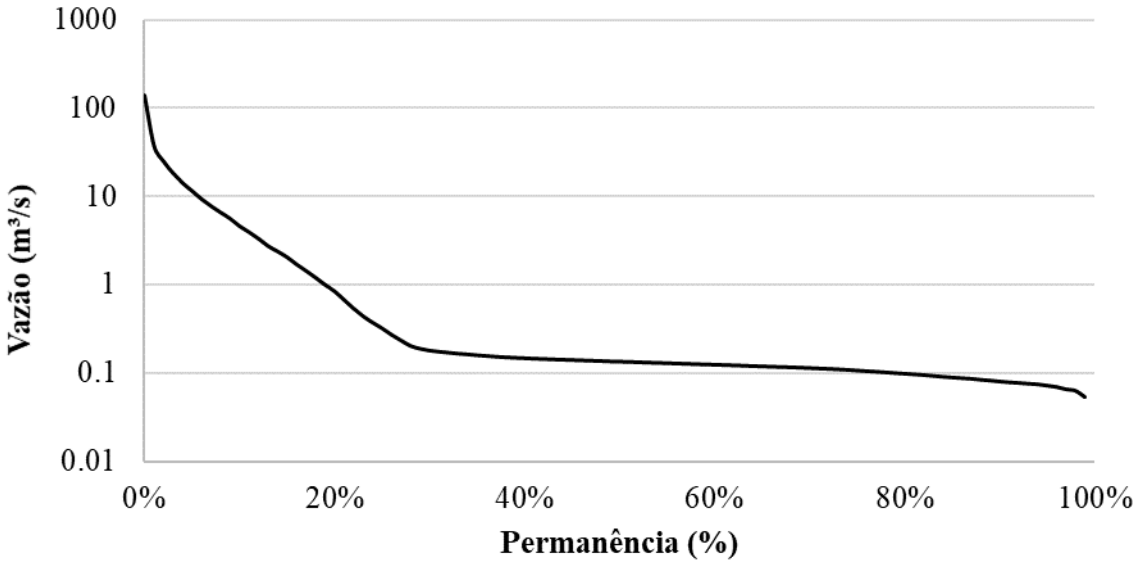


Figura 3-18 Curva de Permanência no exutório da bacia do rio Miriri.
Fonte: Acervo Próprio, 2022

3.2.3.2 Potencialidades

As potencialidades hídricas das sub-bacias do rio Miriri foram determinadas a partir do uso modelo hidrológico HEC-HMS, considerando os registros de outorgas de água obtidos do cadastro da AESA. A partir da realização do balanço entre as retiradas de água e a parcela que retorna aos trechos de drenagem, foram obtidos os valores das potencialidades apresentados pela **Tabela 3-15**. Os valores das potencialidades específicas para cada sub-bacia estão apresentados pela **Figura 3-19**.

Tabela 3-15 - Potencialidades hídricas para as sub-bacias do rio Miriri.

Sub-bacia	Local	Área de drenagem da sub-bacia(km²)	$Q_{média}$ (m³/s)	$Q_{média}$ específica (m³/s.km²)
SBMi1	Açude Cassiano	32,98	0,23	0,0071
SBMi2	Riacho Fundo do Vale	37,12	0,25	0,0067
SBMi3	Açude Curralinho	36,32	0,23	0,0064
SBMi4	Alto Miriri	35,98	0,18	0,005
SBMi5	Médio Miriri	30,80	0,24	0,0077
SBMi6	Açude Pindoba	10,50	0,072	0,0068
SBMi7	Açude Carapucema	10,69	0,056	0,0052
SBMi8	Médio Baixo Miriri	84,33	0,46	0,0054
SBMi9	Baixo Miriri	46,53	0,39	0,0084
SBMi10	Foz Miriri	67,41	0,88	0,013

Fonte: Acervo próprio, 2022

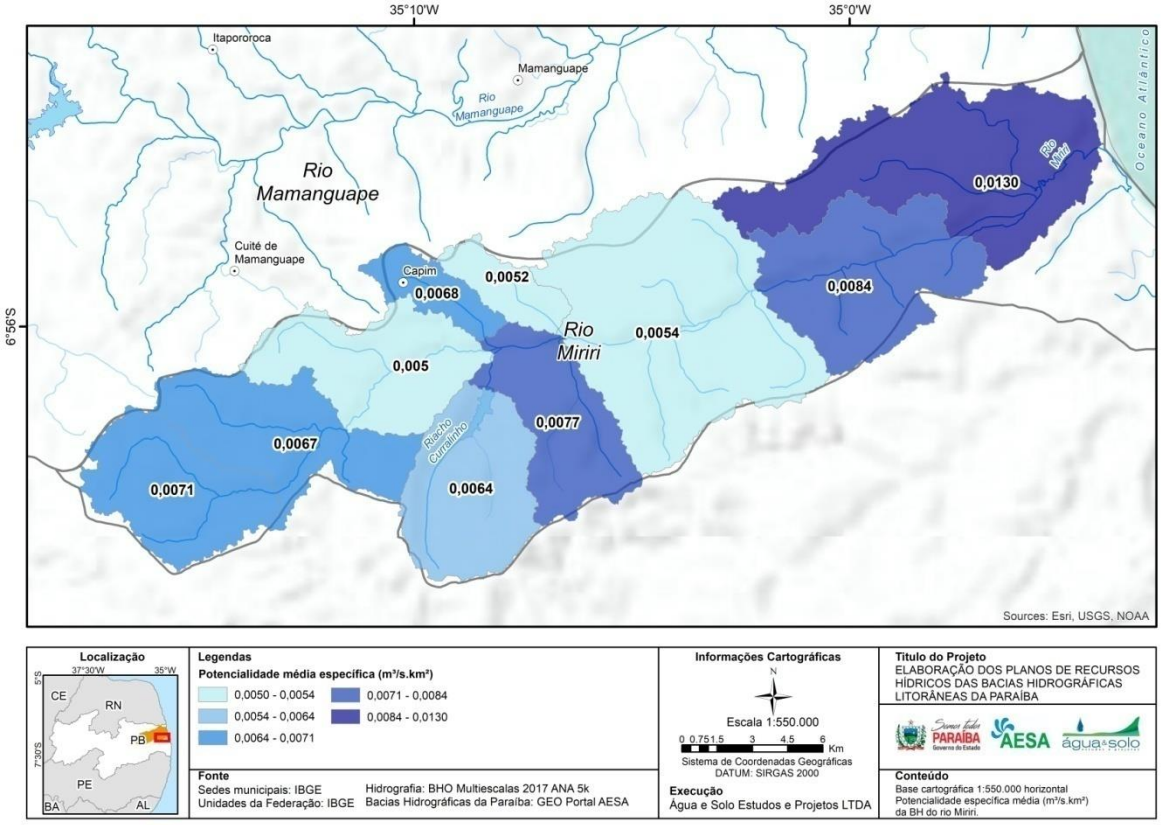


Figura 3-19. Potencialidade média específica (m³/s.km²) de cada uma das sub-bacias do rio Miriri.
Fonte: Acervo próprio, 2022

3.3 Ocorrência de eventos extremos

3.3.1 Registros Si2D

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 BHLN 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 a secas e estiagens, enxurradas e inundações, que são os eventos de maior ocorrência no estado da Paraíba (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2020).

Os eventos registrados por essas duas bases de dados exibem um compilado da ocorrência de eventos extremos ocorridos nas BHLN. De forma que, considerando o período compreendido entre 1991 a 2016, foram registrados um total de 692 eventos nos municípios das BHLN. Os desastres incluem enxurradas (8%), inundações (3%) e estiagens e secas (89%).

Os municípios que mais registraram eventos de estiagem foram Algodão de Jandaíra, Bananeiras, Esperança, Pocinhos e Remígio. Esses municípios estão localizados na região do alto curso das BHLN, na qual, devido a efeitos de continentalidade e, portanto, pouca influência de massas de ar úmidas e frias, as precipitações e massa d'água tendem a ser menos significativas. As estiagens sucedidas nesses municípios representam 20% dos registros, com um total de 119 eventos no período avaliado.

A **Tabela 3-16** apresenta os eventos que foram registrados pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e pela plataforma Si2D por ordem cronológica e por município atingido.

Tabela 3-16 - Eventos extremos registrados no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D nos municípios integrantes das BHLN, no período de 1991 – 2016.

Município	Eventos			Total
	Enxurradas	Estiagens e/ou secas	Inundações	
Alagoa grande	3	15	1	19
Alagoa nova	1	9	1	11
Alagoinha	3	9	1	13
Algodão de Jandaíra	1	23	-	24
Araçagi	1	15	1	17
Arara	1	17	2	20

Município	Eventos			Total
	Enxurradas	Estiagens e/ou secas	Inundações	
Areia	1	18	2	21
Areial	-	21	-	21
Baia da Traição	-	-	-	0
Bananeiras	2	22	-	24
Belém	3	16	-	19
Borborema	-	3	-	3
Capim	-	10	1	11
Casserengue	1	23	-	24
Cruz do Espírito Santo	1	2	1	4
Cuité de Mamanguape	1	14	-	15
Cuitegi	1	3	-	4
Curral de cima	-	-	-	0
Duas estradas	-	21	-	21
Esperança	1	25	-	26
Guarabira	1	12	-	13
Itapororoca	-	9	-	9
Jacaraú	-	5	-	5
Juarez Tavora	-	13	1	14
Lagoa de Dentro	1	13	-	14
Lagoa Seca	1	20	-	21
Lucena	1	-	1	2
Mamanguape	1	11	1	13
Marcação	-	-	-	0
Mari	1	4	1	6
Massaranduba	-	17	2	19
Mataraca	2	-	-	2
Matinhas	-	16	1	17
Montadas	1	17	-	18
Mulungu	2	18	1	21
Pedro Régis	-	14	-	14
Pilões	1	13	-	14
Pilõezinhos	1	2	-	3
Pirpirituba	1	10	1	12
Pocinhos	1	24	1	26
Puxinanã	1	21	1	23
Remígio	1	25	-	26
Rio Tinto	2	11	1	14
Santa Rita	4	1	2	7
Sapé	2	1	-	3
Serra da Raiz	2	17	-	19
Serra Redonda	1	17	-	18
Serraria	1	4	-	5
Sertãozinho	-	15	-	15
Solânea	2	20	-	22
Total	**8%**	**89%**	**3%**	**692**

Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e na Plataforma Si2D

Observou-se que as BHLN sofrem predominantemente com eventos de estiagens e secas (89% dos eventos extremos). A partir dos registros, destaca-se o evento de estiagem no ano de 2001, no qual grande parte dos municípios pertencentes às BHLN foram atingidos.

Embora não inteiramente contemplada nos registros do Si2D, é válido ressaltar as secas excepcionais ocorridas no período de 2012 a 2020. Como por exemplo, em janeiro de 2017 as chuvas foram inferiores a 25 mm em praticamente todo o estado. Dessa forma, o estado da Paraíba permaneceu com seca variando de seca Extrema (S3) à seca Excepcional (S4) e com os impactos de curto (C) e de longo prazo (CL) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019b).

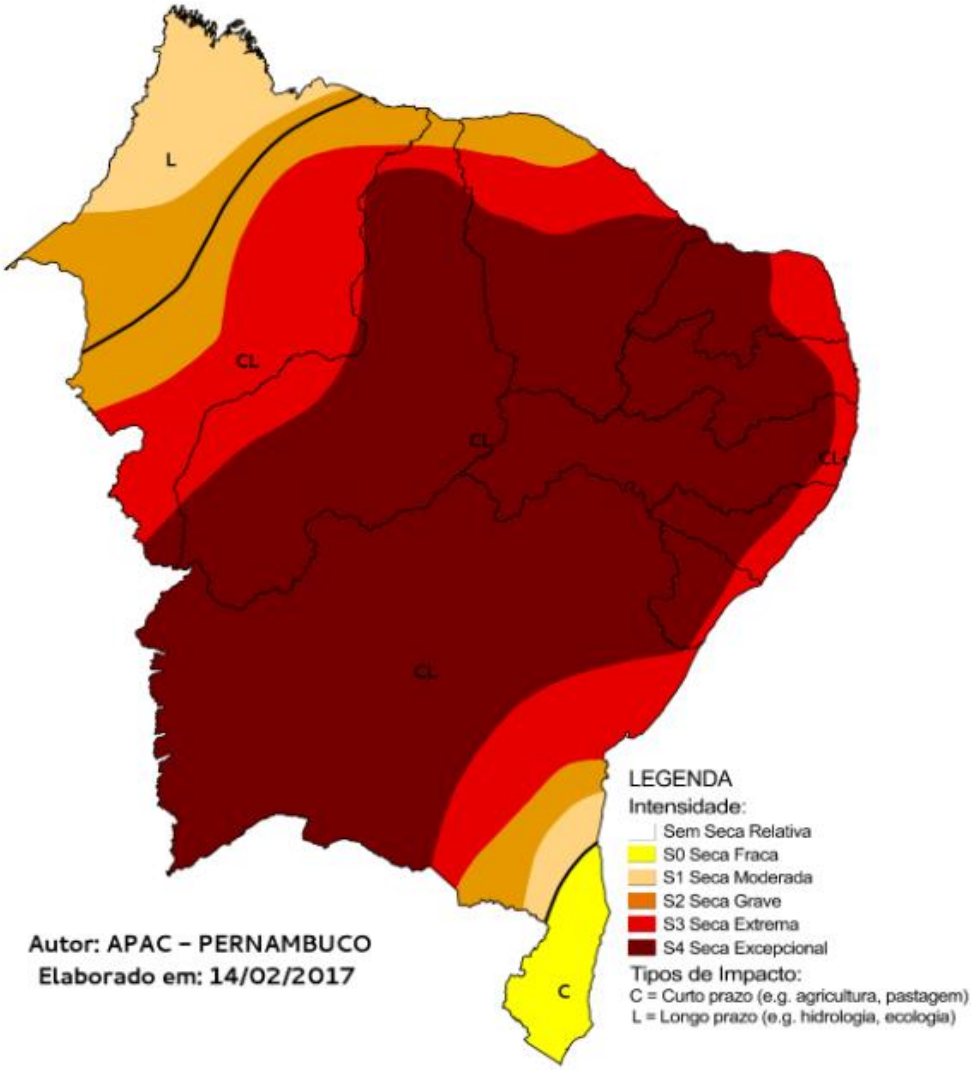


Figura 3-20. Mapa do Monitor de Secas para o período de janeiro de 2017.
Fonte: Agência Nacional De Águas (2019b)

Os eventos associados ao excesso de água na bacia representam apenas 11% dos desastres registrados. Além disso, esses eventos ocorreram de maneira isolada. De maneira geral, as enxurradas ocorreram majoritariamente em 2004, enquanto as inundações se sucederam em 2008 e 2011.

3.3.2 Vazões máximas baseadas nas séries históricas

A determinação das vazões máximas de referência para determinado local pode ser realizada de diferentes formas. Entre os diversos métodos existentes que podem ser aplicados com essa finalidade podem ser citados: i) métodos empíricos e probabilísticos que se baseiam em dados de vazões observadas a fim de estimar vazões máximas com determinados períodos de retorno; e ii) estimativa das vazões máximas com base na transformação da chuva em vazão por meio do método racional ou de modelos hidrológicos (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013).

No caso em estudo, optou-se por utilizar métodos empíricos e probabilísticos, poisutilizar métodos que se baseiam em dados de vazões observadas para determinar os valores das vazões máximas resultam em menores incertezas associadas aos resultados do que os métodos que estimam as vazões a partir de modelos chuva-vazão. Nesse sentido, pode ser afirmado que as maiores incertezas relacionadas aos modelos chuva-vazão são relativas à dificuldade de avaliação da distribuição temporal e espacial da precipitação, à variabilidade dos parâmetros do modelo de acordo com a bacia e a imperfeições intrínsecas ao modelo hidrológico (SANTOS et al., 2001).

Dessa forma, a fim de avaliar os valores máximos de vazões ocorridas nas BHLN, foram analisadas as séries históricas de vazões referentes às três estações fluviométricas instaladas na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. Para análise dos eventos extremos, foi aplicada a distribuição teórica de Weibull e foram aplicadas as distribuições probabilísticas de Gumbel, Log-Normal e Log-Pearson Tipo III a fim de estimar os valores das vazões para maiores períodos de retorno, já que as séries históricas de vazões observadas contemplavam um pequeno período de tempo.

Para isso, selecionaram-se apenas os maiores valores de vazão registrada a cada ano no local em estudo. Nesse caso, foram consideradas as maiores vazões dentro do ano hidrológico, que é diferente do ano civil. De acordo com o Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2009), o ano hidrológico da Paraíba inicia em 1º de outubro e finaliza em 30 de setembro.

Tendo posse dos valores das vazões máximas anuais, essas foram ordenadas de forma decrescente e foi atribuída uma ordem a cada uma delas. A partir disso, foi aplicada a distribuição empírica de Weibull e as distribuições teóricas de Gumbel, Log-Normal e Log-Pearson Tipo III a fim de determinar os valores máximos das vazões para diferentes períodos

de retorno referentes às séries históricas das estações de Mulungu (38750000), Sítio Passagem (38771000) e Ponte do Leitão (38790000).

As Figura 3-21, Figura *3-22* e Figura *3-23* e as Tabela 3-17, Tabela *3-18* e

Tabela *3-19* apresentam os resultados da aplicação das distribuições empírica e teóricas para a estação de Mulungu, Sítio Passagem e Ponte do Leitão, respectivamente. É válido ressaltar que a análise das séries históricas das estações somente considerou os anos hidrológicos que não possuíam falhas nos dados.

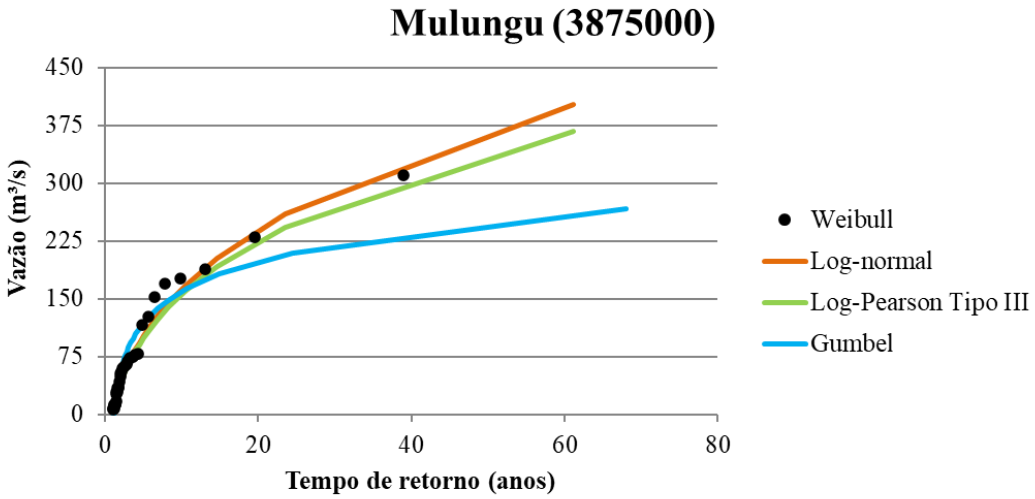


Figura 3-21. Distribuições empírica e teóricas para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Mulungu.

Tabela 3-17. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Mulungu (38750000).

Tempo de retorno (anos)	Distribuição probabilística		
	Vazão (m³/s) Log-Normal	Vazão (m³/s) Log-Pearson Tipo III	Vazão (m³/s) Gumbel
5	102,34	99,44	118,98
10	162,96	155,91	159,79
20	239,31	224,95	198,93
50	368,77	338,12	249,60
100	491,98	442,34	287,57

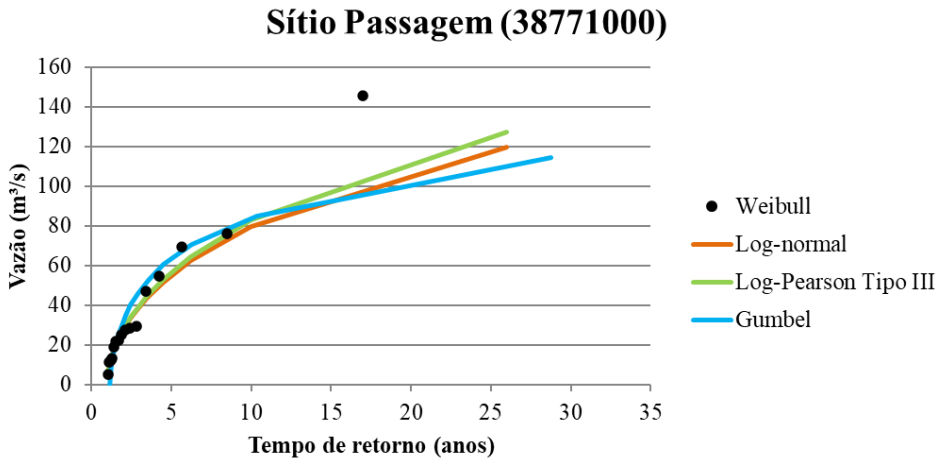


Figura 3-22. Distribuições empírica e teóricas para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Sítio Passagem.

Tabela 3-18. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Sítio Passagem (38771000).

Tempo de retorno (anos)	Distribuição probabilística		
	Vazão (m³/s) Log-Normal	Vazão (m³/s) Log-Pearson Tipo III	Vazão (m³/s) Gumbel
5	55,35	56,79	63,51
10	79,76	83,00	84,16
20	107,83	114,06	103,98
50	151,42	163,95	129,62
100	189,88	209,42	148,84

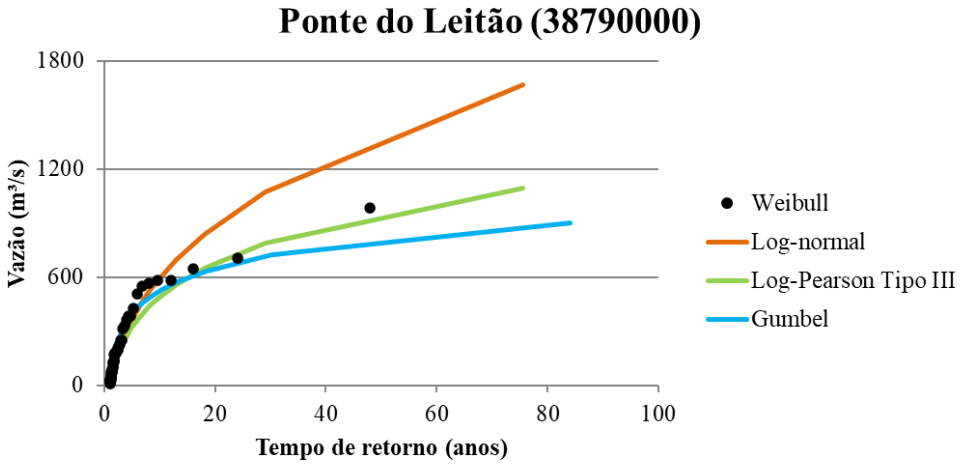


Figura 3-23. Distribuição empírica de Weibull para análise de vazões máximas referente à estação fluviométrica de Ponte do Leitão.

Tabela 3-19. Vazões máximas para diferentes períodos de retorno referentes à estação fluviométrica Ponte do Leitão (38790000).

Tempo de retorno	Distribuição probabilística		
	Log-Normal	**Log-Pearson Tipo III**	**Gumbel**
5	367,47	323,66	397,03
10	595,49	490,44	526,42
20	887,17	678,38	650,53
50	1389,53	958,23	811,18
100	1874,02	1192,73	931,57

Ao analisar o resultado da aplicação das distribuições teóricas às estações de Mulungu e Ponte do Leitão, percebe-se que a distribuição Log-Normal é a que mais se aproxima da distribuição empírica de Weibul. Já para o caso da estação Sítio Passagem todas as distribuições teóricas subestimaram as vazões calculadas a partir da distribuição empírica. O valor máximo de vazão registrado por essa estação é de 145,46 m³/s, tendo ocorrido no ano de 2010. Esse valor é quase o dobro da segunda maior vazão registrada por essa estação (76 m³/s). Uma discrepância dessa ordem não é esperada, podendo ser devida a erros na coleta ou registro dos dados, uma vazão alterada pela operação de algum reservatório ou um dado referente a um período anterior à implantação de uma obra específica. Entretanto, para tempos de recorrência mais baixos, as três distribuições teóricas se mostraram adequadas. Assim, para as BHLN a distribuição teórica que mais se aproxima da distribuição empírica é a Log-Pearson Tipo III.

4 Qualidade das águas

4.1 Rede de monitoramento

A análise da qualidade das águas superficiais nas bacias do Litoral Norte 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 lêntico 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	Parâmetros analisados
AESA	- 3 em reservatórios - 4 em rios TOTAL: 7	93	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	- 26 em reservatórios - 7 em ETAs - 6 em rios - 2 em locais não informados TOTAL: 47	2643	2007, 2014 - 2018	2,4-D + 2,4,5-T, Alaclor, Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido, Aldrin + Dieldrin Atrazina, Carbendazim+Benomil, Carbofurano, Clordano (Cis + Trans), Clorpirifos+Clorpirifos oxon, DDT + DDD + DDE, Diuron, Endossulfan (a, ß e Sais), Endrin, Glifosato + AMPA, Lindano (gama HCH), Mancozebe, Metamidofós, Metolacloro, Molinato, Parationa Metilica, Pendimetalina, Permetrina, Profenofos, Simazina, Sulfato, Tebuconazol, Terbufos, Trifluralina.
SUDEMA	- 8 em rios TOTAL: 8	769	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 Norte, 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 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 BHLN 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 bacia do rio Mamanguape. Há uma necessidade de concepção e operacionalização de uma rede de monitoramento das águas superficiais que seja bem distribuída espacialmente, georreferenciada e padronizada.

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 BHLN. 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 BHLN. Destaca-se 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 BHLN.

Responsável	Código da estação	Corpo hídrico	Lat.	Long.	Nº campanhas	Data 1ª campanha	Data última campanha
AESA-PB	38615000	Riacho Areia	-6,942500	-35,678050	12	14-ago-18	06-mai-21
AESA-PB	38700000	Rio Camaratuba	-6,648149	-35,121226	14	22-mar-18	26-mai-21
AESA-PB	38710900	Rio Riachão	-7,033016	-35,760938	3	7-nov-20	06-mai-21
AESA-PB	38750000	Rio Mamanguape	-7,029000	-35,468000	23	24-fev-03	12-abr-19
AESA-PB	38775000	Rio Mamanguape	-6,852882	-35,296005	16	28-set-17	06-mai-21
AESA-PB	38795000	Rio Mamanguape	-6,808730	-35,079247	11	28-sep-17	27-mai-21
AESA-PB	38796000	Rio Miriri	-6,891173	-34,936284	14	22-mar-18	27-mai-21
SUDEMA	CM01	Rio Camaratuba	-6,609794	-35,062685	104	25-jan-06	18-nov-21
SUDEMA	CM02	Rio Camaratuba	-6,599573	-35,042048	103	25-jan-06	18-nov-21
SUDEMA	CM03	Rio Camaratuba	-6,602121	-34,965934	103	25-jan-06	18-nov-21
SUDEMA	MM01	Rio Mamanguape	-6,854202	-35,134423	95	4-jan-06	11nov-21
SUDEMA	MM02	Rio Mamanguape	-6,818471	-35,069290	93	4-jan-06	11-nov-21
SUDEMA	MM03	Rio Mamanguape	-6,775221	-34,924561	92	4-jan-06	11-nov-21
SUDEMA	MR01	Rio Miriri	-6,939469	-35,095253	104	4-jan-06	11-nov-21
SUDEMA	MR02	Rio Miriri	-6,864389	-34,902700	75	4-jan-06	2-dez-20
CAGEPA	-	Açude Nova Camará	-7,059000	-35,759000	-	-	-
CAGEPA	-	Barragem Araçagi	-6,853000	-35,296000	5	15-mai-15	22-nov-18
CAGEPA	-	Açude Covão	-7,026000	-35,917000	-	-	-
CAGEPA	-	Açude Lagoa dos Matias	-6,742000	-35,576000	6	23-dez-07	20-nov-18
CAGEPA	-	Açude Tauá	-6,907000	-35,535000	5	23-dez-07	15-mai-18
CAGEPA	-	Açude Duas Estradas	-6,706000	-35,443000	4	31-mai-16	21-nov-18
CAGEPA	-	Barragem Brejinho	-7,133000	-35,627000	5	27-mai-15	01-nov-18
CAGEPA	-	Barragem Jangada	-6,819000	-35,119000	2	15-dez-16	03-out-17
CAGEPA	-	Açude Massaranduba	-7,162000	-35,717000	2	12-dez-16	28-set-17
CAGEPA	-	Açude Emídio	-7,092000	-35,925000	-	-	-
CAGEPA	-	Açude Pirpirituba	-6,812000	-35,570000	1	05-jan-17	05-jan-17

Fonte: AESA, CAGEPA e SUDEMA.

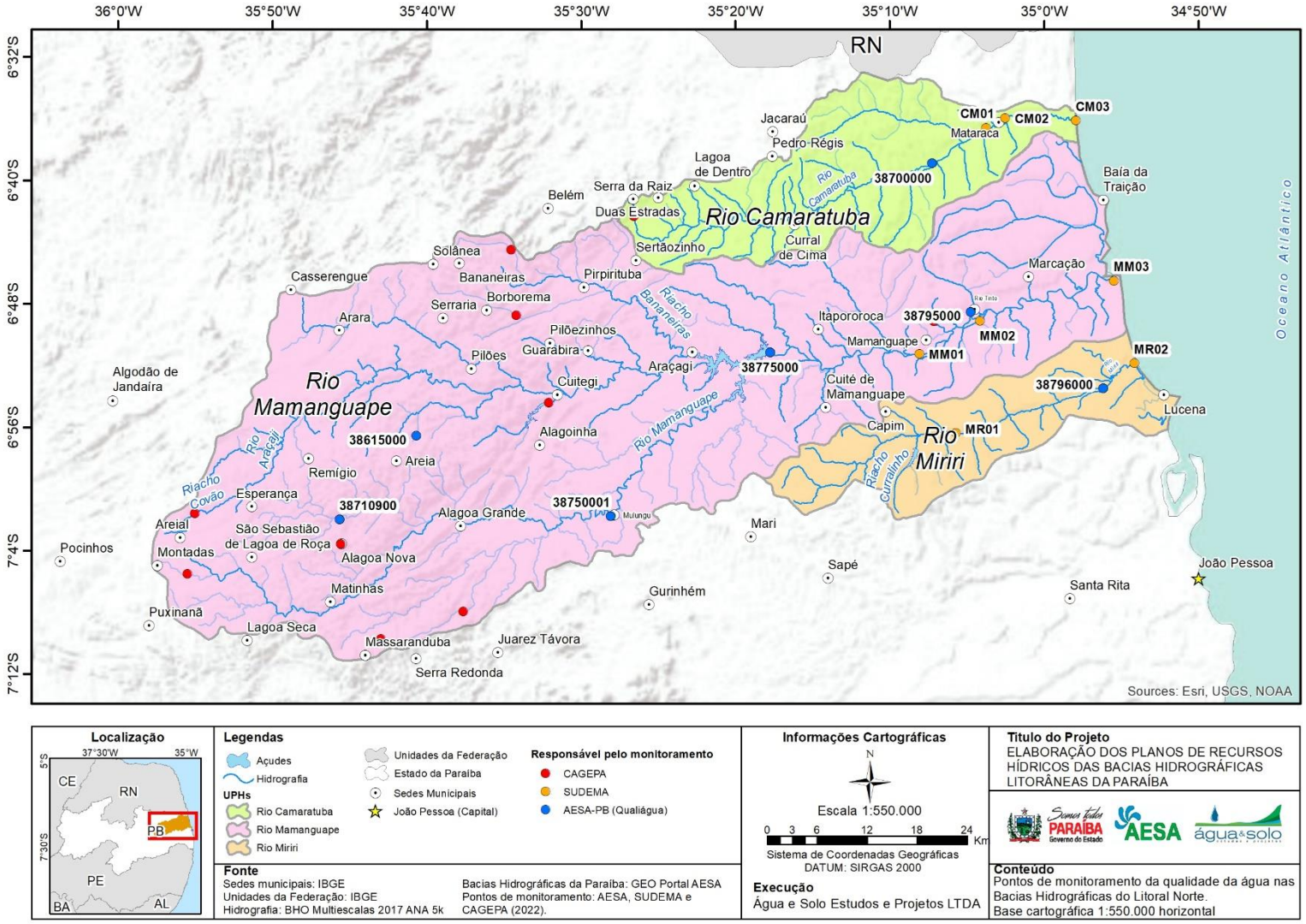


Figura 4.1 - Pontos de monitoramento de qualidade da água nas BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022.

4.2 Índice de Qualidade da Água (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;
qi = 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;
wi = 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 Norte. 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 2020, a Rede Nacional de Qualidade da Água contava com apenas quatro estações de monitoramento nas bacias do Litoral Norte, todas estas na bacia do rio Mamanguape. Tais pontos possuem os resultados do IQA CETESB apenas para os anos de 2008 e 2009. A **Tabela 4.3** apresenta as informações relativas a estes pontos de monitoramento além dos valores máximos, médios e mínimos do índice. Nota-se que para estes anos, em geral nos açudes analisados (Araçagi, São Gonçalo, Tauá e Vaca Brava), a qualidade da água era considerada boa.

Tabela 4.3 - Estações de monitoramento da RNQA nas bacias do Litoral Norte e seus respectivos IQA CETESB.

Código da Estação		AG68	SG03	TA67	VB65
Corpo D'Água		Açude Araçagi	Açude São Gonçalo	Açude Tauá	Açude Vaca Brava
Município		Itapororoca	Araçagi	Cuitegi	Areia
Longitude		-35,296005	-35,31167	-35,53511	-35,75217
Latitude		-6,852882	-6,83583	-6,90667	-6,99167
2008	**Mínimo**	74,45	70,19	73,28	73,72
	Média	78,45	70,57	80,63	78,22
	Máximo	82,45	70,96	87,99	82,72
2009	**Mínimo**	57,04	76,60	67,93	71,05
	Média	67,18	76,61	72,10	77,06
	Máximo	75,84	76,62	76,28	83,07
		Ótima			
		Boa			

Por outro lado, o Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba (2019) elencou as águas na bacia do Mamanguape com qualidade boa (IQA médio de 71,58) para o período entre 2007 e 2017. A bacia registrou valores mínimo e máximo do IQA CESTEB respectivamente iguais a 49 (regular) e 84 (ótima). O índice não foi calculado para as bacias do rio Miriri e Camaratuba. 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.

4.3 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 consequente 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 µg/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 µg/L.

Os valores do IET são classificados segundo classes de estado tróficos, apresentadas **Tabela 4.4,** juntamente com suas características.

Tabela 4.4 - Classe de estado trófico e suas características principais.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
IET ≤ 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 ≤ 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 ≤ 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 ≤ 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 ≤ 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 4.5** 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 Mamanguape foi classificado como eutrófico na altura do município de Mulungu e mesotrófico em Rio Tinto. Os rios Camaratuba e Miriri possuem características de corpos d'água mesotrófico e oligotrófico, respectivamente. A situação dos reservatórios se mostra pior em termos de qualidade da água para os corpos d'água lênticos, uma vez que dos três açudes analisados, dois apresentaram alta produtividade em relação às condições naturais e com redução da transparência (eutrófico) e o Açude Araçagi especificamente em estado supereutrófico.

Tabela 4.5 - 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
		Chuva	Seca	N.I.	Chuva	Seca	N.I.	Chuva	Seca	N.I.	
AMBIENTES LÊNTICOS											
38775000	Açude Araçagi	71,55	66,06	-	67,28	60,40	-	58,98	58,96	-	64,32
38710900	Açude Nova Camara	-	-	-	-	-	59,94	65,31	65,18	-	62,23
38615000	Açude Saulo Maia	-	-	64,88	-	-	57,26	-	-	55,14	59,45
AMBIENTES LÓTICOS											
38700000	Rio Camaratuba	63,71	55,21	-	46,37	52,53	-	53,94	51,61	-	54,10
38750001	Rio Mamanguape	64,77	62,18	-	-	-	58,23	57,14	-	-	60,89

Código da Estação	Corpo d'água	2019			2020			2021			Média Geral
		Chuva	Seca	N.I.	Chuva	Seca	N.I.	Chuva	Seca	N.I.	
38795000	Rio Mamanguape - Rio Tinto	65,37	58,81	-	-	-	55,29	54,93	53,35	-	57,52
38796000	Rio Miriri	63,69	55,13	-	-	-	46,74	47,63	48,66	-	51,69
	Ultraoligotrófico										
	Oligotrófico										
	Mesotrófico										
	Eutrófico										
	Supereutrófico										
	Hipereutrófico										

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 Mamanguape: 65,79 (média), 58,17 (mínimo), 76,32 (máximo) e 25,82 (variância). Os valores encontrados apresentam características de meio supereutrófico, ou seja, com elevada carga de nutrientes. A BH apresentou a menor variação entre as bacias analisas. De forma geral, as águas superficiais monitoradas do estado da Paraíba apresentam condições hipereutróficas (57%) e supereutróficas (42%).

4.4 Classificação dos corpos d'água

A classificação dos corpos d'água das BHLN, 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 cada uma das classes estão apresentados nas **Figura 4.2** e **Figura 4.3**.

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		Hortaliças consumidas cruas e frutas inseridas com película	Hortaliças, 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	Mandatório 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 BHLN 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 4.6** e **Tabela 4.7**, respectivamente para os período seco e chuvoso, estão apresentados a frequência de cada classe para os parâmetros elencados referente a cada estação com disponibilidade de dados.

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

PARÂMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
CF (org/100mL)/E.coli (org/100mL)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	50%	50%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	50%	50%	0%	0%	0%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	19%	53%	19%	0%	9%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	15%	32%	34%	0%	19%
	CM03	Rio Camaratuba	Águas Salobras	83%	11%	0%	0%	7%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	0%	0%	100%	0%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	18%	44%	27%	0%	11%
	MM02	Rio Mamanguape	Águas Salobras	65%	26%	7%	0%	2%
	MM03	Rio Mamanguape	Águas Salinas	91%	9%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	0%	50%	50%	0%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	36%	42%	16%	0%	6%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	74%	21%	0%	0%	4%
DBO (mg/L)	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	98%	0%	2%	0%	0%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	86%	12%	2%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	85%	10%	5%	0%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	87%	7%	7%	0%	0%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	79%	6%	15%	0%	0%
Fósforo total (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	0%	0%	17%	0%	83%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	0%	0%	25%	0%	75%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	0%	29%	43%	0%	29%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	33%	17%	0%	0%	50%

PARÂMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	67%	0%	0%	0%	33%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	50%	0%	17%	0%	33%
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
OD (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	25%	38%	13%	25%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	50%	25%	0%	0%	25%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	86%	14%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	75%	13%	13%	0%	0%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	60%	30%	11%	0%	0%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	63%	25%	10%	2%	0%
	CM03	Rio Camaratuba	Águas Salobras	44%	33%	21%	0%	2%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	67%	17%	0%	17%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	75%	0%	13%	0%	13%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	62%	29%	7%	2%	0%
	MM02	Rio Mamanguape	Águas Salobras	58%	21%	9%	0%	12%
	MM03	Rio Mamanguape	Águas Salinas	60%	20%	11%	0%	9%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	25%	38%	25%	13%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	12%	16%	12%	52%	8%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	29%	43%	20%	9%	0%

PARÂMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
Turbidez (NTU)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	25%	25%	0%	0%	50%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	75%	13%	0%	0%	13%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	72%	20%	0%	0%	9%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	67%	26%	0%	0%	7%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	83%	0%	0%	0%	17%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	60%	21%	0%	0%	19%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	88%	13%	0%	0%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	83%	8%	0%	0%	8%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	88%	6%	0%	0%	6%

Tabela 4.7 - Enquadramentos das estações em classes, conforme o parâmetro avaliado para o período **SECO**.

PARAMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
CF (org/100mL)/E.coli (org/100mL)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	30%	53%	11%	0%	0%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	17%	32%	21%	0%	0%
	CM03	Rio Camaratuba	Águas Salobras	94%	0%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	43%	33%	13%	0%	0%
	MM02	Rio Mamanguape	Águas Salobras	83%	7%	4%	0%	0%
	MM03	Rio Mamanguape	Águas Salinas	93%	5%	0%	0%	0%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	22%	46%	16%	0%	0%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	78%	18%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
DBO (mg/L)	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	87%	11%	2%	0%	0%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	79%	15%	6%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	78%	12%	6%	0%	4%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	81%	8%	6%	0%	6%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	84%	13%	3%	0%	0%
Fósforo total (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	0%	0%	20%	0%	80%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	0%	0%	0%	0%	100%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	0%	25%	0%	0%	75%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	0%	0%	80%	0%	20%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	0%	0%	50%	0%	50%

PARAMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	80%	20%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	60%	0%	0%	0%	40%
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	100%	0%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
OD (mg/L)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	43%	43%	0%	14%	0%
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	33%	0%	33%	0%	33%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	67%	17%	17%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	71%	0%	0%	14%	14%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	84%	9%	0%	4%	4%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	54%	15%	13%	15%	4%
	CM03	Rio Camaratuba	Águas Salobras	67%	28%	4%	0%	2%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	50%	50%	0%	0%	0%
	38795000	Rio Mamanguape	Águas Salobras	86%	14%	0%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	58%	29%	2%	10%	0%
	MM02	Rio Mamanguape	Águas Salobras	58%	17%	13%	0%	13%
	MM03	Rio Mamanguape	Águas Salinas	82%	18%	0%	0%	0%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	86%	0%	0%	14%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	12%	4%	6%	58%	20%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	55%	37%	8%	0%	0%
Turbidez (NTU)	38775000	Açude Araçagi	Águas Doces	86%	14%	0%	0%	0%

PARAMETRO	ESTACAO	Curso D'água	Classificação	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV	Fora do limite das Classes
	38710900	Açude Nova Camara	Águas Doces	33%	0%	0%	0%	67%
	38615000	Açude Saulo Maia	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	38700000	Rio Camaratuba	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	CM01	Rio Camaratuba	Águas Doces	89%	7%	0%	0%	4%
	CM02	Rio Camaratuba	Águas Doces	87%	9%	0%	0%	4%
	38750000	Rio Mamanguape	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MM01	Rio Mamanguape	Águas Doces	63%	15%	0%	0%	23%
	38796000	Rio Miriri	Águas Doces	100%	0%	0%	0%	0%
	MR01	Rio Miriri	Águas Doces	88%	8%	0%	0%	4%
	MR02	Rio Miriri	Águas Doces	84%	5%	0%	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 seco, 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 avalição geral, os parâmetros turbidez e oxigênio dissolvido apresentaram uma frequência menor de resultados na Classe I no período seco em comparação ao chuvoso. Esta relação é inversa para fósforo, DBO e coliformes fecais.

Em relação aos pontos de monitoramento, as estações que apresentaram maior recorrência de parâmetros na Classe I foram as de código de identificação 38796000 e MM03, localizadas no rio Mamanguape, respectivamente na altura do município de Lucena e na foz do Mamanguape. De acordo com a porcentagem de salinidade destas duas estações as águas nestes segmentos de rio podem ser consideradas salobras (38796000) e salinas (MM03). Para a estação 38796000 apesar desta possuir 100% das amostras de coliformes e oxigênio dissolvido na Classe I, 33% das avaliações ficaram acima dos limites atribuídos às classes para fósforo. Para a foz do Mamanguape, este valor foi de 9% para oxigênio dissolvido.

Em relação às piores qualidades da água, ou seja, aquelas estações com maiores frequências na Classe IV, estão 38750000 no Rio Mamanguape na altura do município de Mulungu, 38710900 relativo ao açude Camara em Alagoa Nova e MR01 no Rio Miriri próximo ao riacho Curralinho. Para estes pontos, o parâmetro oxigênio dissolvido se mostra o mais restritivo.

Os valores acima discutidos e elencados nas **Tabela 4.6** e **Tabela 4.7** são sintetizados na forma de seis mapas, um para cada parâmetro avaliado, apresentados no **Anexo I - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLN**. Nos mapas, foram associados gráficos de pizza para cada estação exibindo a distribuição de recorrência das classes para este ponto de monitoramento.

As análises de qualidade de água realizadas pela CAGEPA são referentes a parâmetros orgânicos. De todos os parâmetros que foram analisados, os que constam na Resolução CONAMA nº 357/2005 são: 2,4-D + 2,4,5-T, Alaclor, Aldrin + Dieldrin, Atrazina, Clordano (Cis + Trans), DDT + DDD + DDE, Dieldrin, Endossulfan (A, ß E Sais), Endrin, Glifosato, Heptacloro, HeptacloroEpoxido, Hexaclorobenzeno, Lindano, Metolacloro, Metoxicloro, ParationaMetilica, Pentaclorofenol, Simazina, Sulfato e Trifluralina.

Pelos resultados das análises, foi possível perceber que a maior parte dos compostos apresentou concentração inferior aos limites de quantificação (LQ) dos métodos aplicados para sua

detecção, com exceção de algumas análises referentes ao componente Sulfato. Apesar disso, todos os valores obtidos apresentaram concentrações bem inferiores ao limite máximo estabelecido pelo CONAMA para o enquadramento das águas na 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), Heptacloroepoxido (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.

Visando fornecer subsídios ao balanço hídrico qualitativo e se alinhar à metodologia adotada para a avaliação da disponibilidade hídrica nas BHLN, 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 4.8** 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 BHLN, 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 BHLN. Por esse motivo, os dados apresentados nas **Tabela 4.6**, **Tabela 4.7** e **Tabela 4.8** devem ser utilizados apenas como uma síntese da qualidade atual das águas nas BHLN, servindo como subsídio para uma futura proposta de enquadramento.

Tabela 4.8 - Classes das sub-bacias das BHLN

UPH	Sub-bacia	Local	Classe	Ponto de amostragem	Parâmetro com pior classe
Rio Mamanguape	SBMa1	Alto Mamanguape	**4**	38750001	Sólidos dissolvidos totais e fósforo total

UPH	Sub-bacia	Local	Classe	Ponto de amostragem	Parâmetro com pior classe
	SBMa2	Açude Nova Camará	4	38710900	Turbidez, sólidos dissolvidos totais, clorofila e fósforo total
	SBMa4	Açude Saulo Maia	1	38615000	-
	SBMa7	Açude Araçagi	4	387750000	Sólidos dissolvidos totais e fósforo total
	SBMa9	Médio Baixo Mamanguape	4	38795000	Sólidos dissolvidos totais
	SBMa10	Baixo Mamanguape	1	MM03	-
Rio Camaratuba	SBCa4	Médio Baixo Camaratuba	1	3870000	-
	SBCa6	Baixo Camaratuba	4	CM02	Turbidez e CF
Rio Miriri	SBMi8	Médio Baixo Miriri	4	MR01	OD
	SBMi10	Foz Miriri	2	38796000	OD

A falta de dados de monitoramento da qualidade água em determinadas bacias compromete a avaliação do quadro atual das BHLN. A ausência de um levantamento de dados contínuo é especialmente mais notável para os açudes da região, com a falta de informações nas seguintes sub-bacias: SBMi7 (Açude Carapucema), SBMi6 (Açude Pindoba), SBMi3 (Açude Curralinho), SBMi1 (Açude Cassiano), SBMa6 (Açude Pirpituba) e SBMa5 (Açude Tauá). Na bacia hidrográfica do rio Miriri, percebe-se que somente duas das dez sub-bacias possuem pontos de amostragem de qualidade da água.

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 com as fontes de poluição e com o cadastro de outorgas da AESA-PB (**Tabela 4.9**). É válido ressaltar que foram considerados apenas os cadastros de outorgas vigentes no período em que o presente estudo foi desenvolvido.

Ao analisar a estação MR01 na SBMi8, que foi a única sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Miriri enquadrada em Classe 4, percebe-se que ela não é a que mais possui fontes de poluição cadastradas, nem a que possui maior número de cadastros de outorga. Entretanto, ao analisar imagens de satélites, é possível perceber que nessa sub-bacia há a presença de grandes áreas cultivadas que podem contribuir como fontes difusas de poluição, influenciando na qualidade da água do local.

Com relação à bacia do rio Camaratuba, novamente é possível perceber a falta de dados já que somente duas das quatro sub-bacias analisadas possuem dados amostrados de qualidade da água. Nesse caso, a SBCa4 (estação 38700000), que é a sub-bacia com maior número de cadastros de outorga da bacia hidrográfica do rio Camaratuba, ficou enquadrada como Classe 1. A única sub-bacia que ficou enquadrada como Classe 4 é a SBCa6 (com as estações CM03, CM02 e CM01), o que é coerente com o enquadramento de 1988 em que esse trecho de rio estava enquadrado como Classe 3.

Já na bacia hidrográfica do rio Mamanguape quatro sub-bacias ficaram enquadradas na Classe 4, sendo que o parâmetro com pior classificação comum a todas elas foram os sólidos dissolvidos totais. É válido ressaltar que no enquadramento de 1988, essas sub-bacias estavam enquadradas na Classe 2.

Ao analisar a classe resultante para a SBMa10, localizada na foz do rio Mamanguape, é possível perceber que essa sub-bacia ficou enquadrada como Classe 1 – com apenas um ponto de amostragem de qualidade da água que se encontra sob responsabilidade da SUDEMA, sendo ele o MM03. Esse ponto está situado muito próximo à foz do rio Mamanguape, em uma região de mangue, e está classificado como sendo de águas salinas. As áreas próximas ao rio Mamanguape situadas na SBMa10 estão inseridas na APA do Rio Mamanguape e na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) e encontram-se parcialmente sobrepostas às Terras Indígenas Potiguara e Potiguara de Monte-Mor.

Apesar da maioria dos parâmetros terem apresentado maior recorrência de enquadramento na Classe I para o ponto MM03 - conforme apresentados pelos mapas do **Anexo I** - essa região é caracterizada pela prática intensiva de carcinicultura nas proximidades da foz do Mamanguape. Esta atividade surgiu no município de Marcação, por volta dos anos 90, como uma alternativa para melhorar as condições socioeconômicas da população. Atualmente, a carcinicultura é desenvolvida no interior da APA, tanto pela população indígena quanto por empresas privadas. Neste ínterim, diversos são os relatos de deterioração da qualidade da água neste ponto em contrapartida à Classe I encontrada. Este conflito de resultados demonstra a necessidade da avaliação de parâmetros neste ponto diretamente relacionados com os efluentes da carcinicultura, como os nutrientes (nitrogênio e fósforo) que possam de fato refletir a realidade da qualidade das águas locais. Vale ressaltar que no enquadramento de 1988, o Baixo Mamanguape estava classificado como Classe 3.

Tabela 4.9. Número total de fontes de poluição e cadastro de outorgas em cada sub-bacia.

Sub-bacia	Área da sub-bacia (km²)	N° de fontes de poluição	N° de cadastros de outorga	N° fonte poluição/Área	N° cadastros de outorga/Área	Classe
SBCa1	55,54	15	4	0,270	0,072	-
SBCa2	78,49	2	0	0,025	0,000	-
SBCa3	101,34	8	5	0,079	0,049	-
SBCa4	194,24	11	44	0,057	0,227	1
SBCa5	121,19	20	20	0,165	0,165	-
SBCa6	67,68	10	4	0,148	0,059	4
SBMa1	772,35	102	12	0,132	0,016	4
SBMa2	101,78	13	18	0,128	0,177	4
SBMa3	801,92	0	15	0,000	0,019	2
SBMa4	47,20	12	5	0,254	0,106	1
SBMa5	57,68	13	3	0,225	0,052	-
SBMa6	42,25	1	3	0,024	0,071	-
SBMa7	717,47	187	70	0,261	0,098	4
SBMa8	408,07	36	74	0,088	0,181	-
SBMa9	186,68	70	20	0,375	0,107	4
SBMa10	375,26	9	7	0,024	0,019	1
SBMi1	32,98	6	10	0,182	0,303	-
SBMi2	37,12	8	9	0,215	0,242	-
SBMi3	36,31	12	1	0,330	0,028	-
SBMi4	35,98	3	3	0,083	0,083	-
SBMi5	30,80	20	4	0,649	0,130	-
SBMi6	10,50	0	1	0,000	0,095	-
SBMi7	10,69	0	0	0,000	0,000	-
SBMi8	84,33	2	3	0,024	0,036	4
SBMi9	46,53	0	2	0,000	0,043	-
SBMi10	67,41	5	8	0,074	0,119	2

Diante dos resultados apresentados, é válido ressaltar a necessidade de realização de um novo enquadramento para os cursos de água das BHLN haja vista que o único enquadramento existente foi realizado em 1988, 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 BHLN com o Oceano Atlântico e devido ao fato de que o conhecimento da salinidade é indispensável para o enquadramento dos corpos de água.

Por fim, reforça-se a necessidade de um monitoramento contínuo e que contemple espacialmente a maioria das sub-bacias de interesse. Ademais, se faz necessário a recorrente atualização dos cadastros de outorgas e fontes poluidoras no estado da Paraíba. 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.

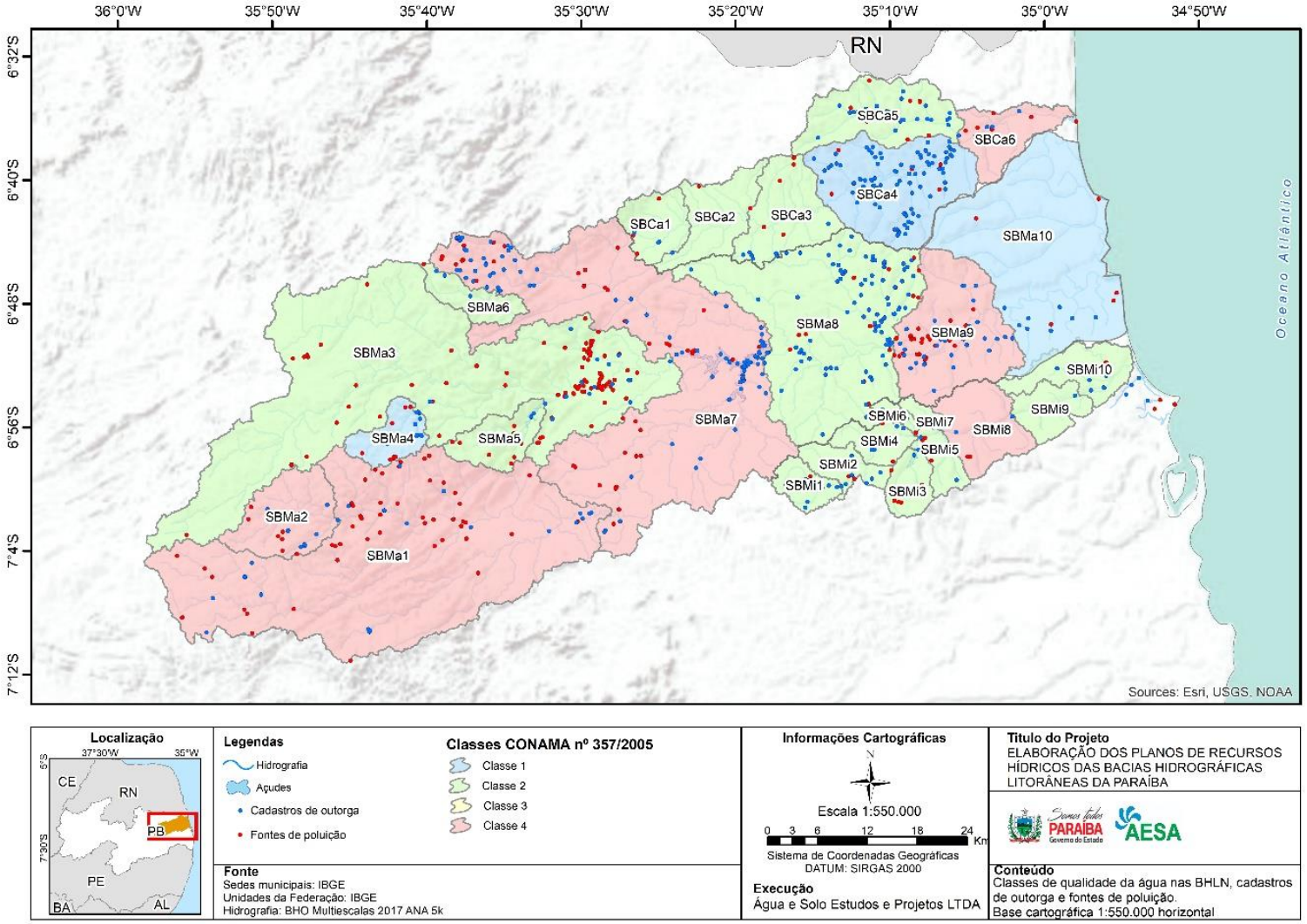


Figura 4.4 - Qualidade da água das sub-bacias do Litoral Norte, cadastros de outorga da AESA-PB e fontes de poluilção.
Fonte: Acervo próprio, 2022.

5 Proposição de rede de monitoramento hidrometeorológico

As análises referentes à disponibilidade e potencialidade hídrica superficial demonstraram que há falta de dados disponíveis que permitam determinar com maior segurança as vazões de referência para as Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. Das trinta estações fluviométricas instaladas na área das BHLN, apenas três possuem informações referentes à vazão, sendo que as três se situam na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. Essa falta de dados impossibilitou uma calibração mais eficiente do modelo hidrológico, já que os parâmetros obtidos para as sub-bacias do rio Mamanguape tiveram que ser regionalizados para as bacias dos rios Camaratuba e Miriri.

Desta forma, ressalta-se a importância de criar uma rede de monitoramento hidrometeorológico para essa região, para que estudos futuros referentes às disponibilidades e potencialidades hídricas possam ser realizados com maior grau de precisão.

Como proposta de aperfeiçoamento da rede hidrometeorológica, indica-se, primeiramente, que seja monitorada a vazão de forma contínua nas estações fluviométricas já existentes, mas que não possuem série histórica. Além disso, indica-se a instalação de pelo menos mais 7 estações, sendo 2 delas localizadas na BH do rio Mamanguape, 3 na BH do rio Camaratuba e 2 na BH do rio Miriri, de forma complementar a rede de estações. A localização sugerida para esses novos postos fluviométricos está apresentada pelos dados da **Tabela 5-1 e** pelo mapa da **Figura 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).

Com a instalação dessas novas estações e com o início do monitoramento de vazão pelas estações existentes, 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 BHLN.

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 BHLN.

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 longas e, dessa forma, as mesmas devem ser mantidas. Entretanto, indica-se a instalação de mais estações na região central da BH do rio Miriri e do rio Camaratuba.

Tabela 5-1. Localização da rede fluviométrica proposta.

Bacia hidrográfica	Curso de água	Latitude	Longitude
Mamanguape	Após a confluência dos rios Araçagi e Araçagi Mirim	-6,887	-6,887
Mamanguape	No rio da Estiva, após a confluência dos rios Sinimbu e o riacho das Balanças	-6,715	-6,715
Camaratuba	Após a confluência do rio Camaratura com os rios Itaipé e Mataraquinha	-6,605	-6,605
Camaratuba	Após a confluência do rio Camaratuba com o riacho da Baixa Verde	-6,709	-6,709
Camaratuba	Após a confluência do rio Pitanga com o rio Camaratuba	-6,626	-6,626
Miriri	Após a confluência dos riachos Cana Brava e Curralinho	-6,941	-6,941
Miriri	Após a confluência dos riachos Miriri, Pé de Peru e Água Branca	-6,919	-6,919

*Deve ser respeitada a presença de remansos ao instalar as estações fluviométricas.

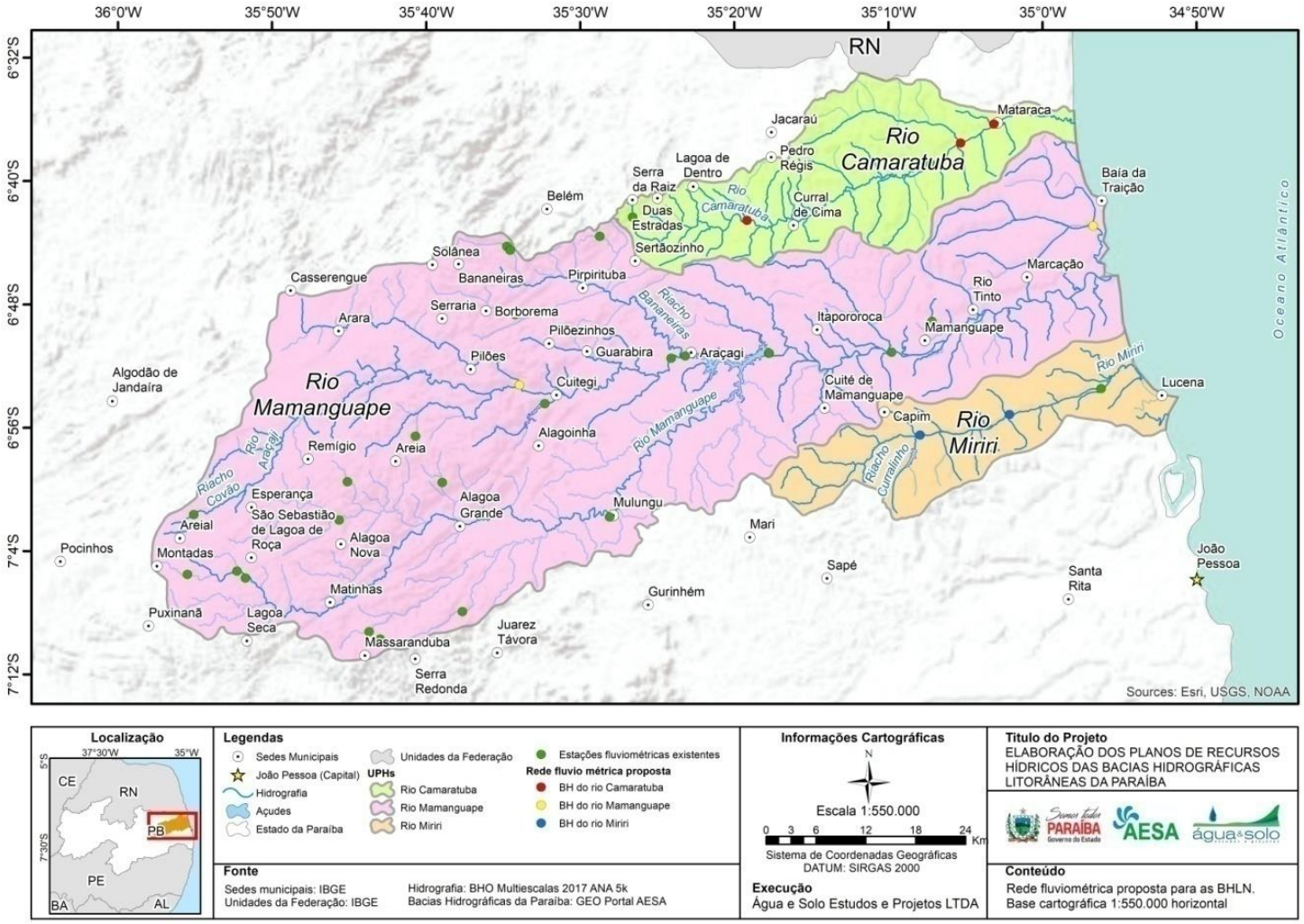


Figura 5-1. Rede fluviométrica proposta para as BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

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 Norte é predominantemente definida pelo sistema Cristalino e pelo sistema Paraíba-Pernambuco. O sistema Cristalino engloba o Complexo Serrinha, o Complexo São Caetano, a Formação Seridó e o Plúton Esperança e está presente na região semiárida da Paraíba, envolvendo a região do médio e alto curso das bacias do rio, Miriri, Camaratuba e Mamanguape. O sistema Paraíba-Pernambuco compõe a área de baixo curso das bacias do Litoral Norte e é composto pelos Grupo Barreiras e os Depósitos Flúvio Marinhos (**Figura 6-1**).

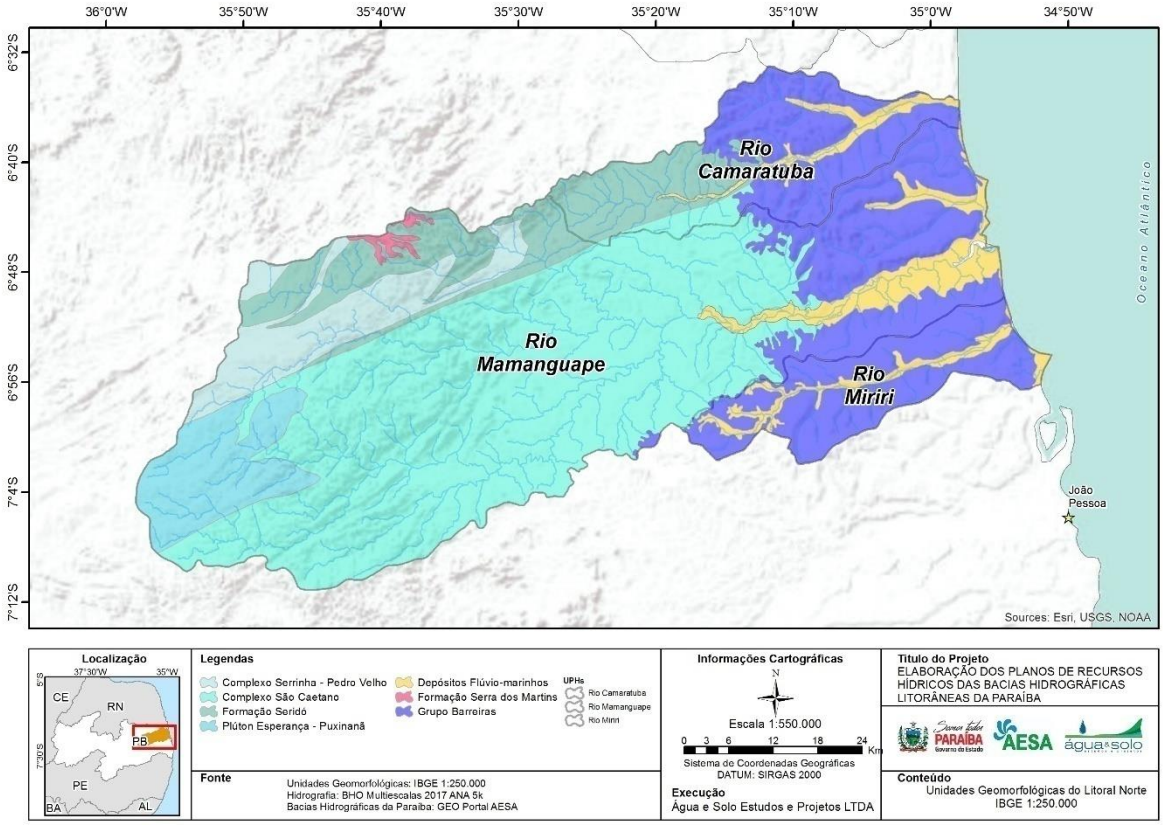


Figura 6-1. Unidades Geomorfológicas nas bacias do Litoral Norte.
Fonte: Acervo próprio, 2022

A avaliação da disponibilidade hídrica da água subterrânea na região do Litoral Norte 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 vazão de estabilização (segundo GET, também chamada de vazão de teste de poço), vazão específica e o nível estático do poço.

Para apresentação dos dados, define-se:

- **Vazão específica ou capacidade específica**: capacidade de produção dos poços, sendo esse valor correspondente a razão entre a vazão (m³/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** exibe os valores mínimos, médios e máximos para os parâmetros supracitados.

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

Município	Vazão de estabilização Mínima (m³/h)	Vazão de estabilização máximas (m³/h)	Vazão de estabilização média (m³/h)	Vazões específicas mínimas (m³/h/m)	Vazões específicas máximas (m³/h/m)	Vazão específicas média (m³/h/m)	Poços Equipados
Alagoa grande	0,20	16,00	2,65	0,25	0,51	0,38	21
Alagoa nova	1,20	8,00	4,60	-	-	-	2
Alagoinha	0,46	12,00	3,27	0,05	0,16	0,11	20
Algodão de Jandaira	0,14	1,98	0,71	0,01	0,11	0,04	6
Araçagi	0,21	12,00	3,27	0,01	0,54	0,16	22
Arara	0,45	3,50	1,68	0,02	1,75	0,60	8
Areia	0,21	3,00	1,61	0,01	0,01	0,01	14
Areial	-	-	-	-	-	-	1
Baia da Traição	5,00	39,60	22,11	0,60	3,02	2,12	10
Bananeiras	0,60	2,82	1,41	0,02	0,09	0,06	22
Belém	-	-	-	-	-	-	4
Borborema	-	-	-	-	-	-	4
Capim	-	-	-	-	-	-	6
Casserengue	0,30	1,50	0,97	0,08	0,13	0,11	6
Cruz do Espirito Santo	1,00	7,00	2,03	0,12	0,12	0,12	76
Cuité de Mamanguape	0,80	0,80	0,80	-	-	-	4
Cuitegi	3,15	3,15	3,15	-	-	-	12
Curral de cima	2,00	2,00	2,00	-	-	-	8
Duas estradas	2,88	2,88	2,88	0,23	0,23	0,23	7
Esperança	0,10	0,50	0,30	0,01	0,01	0,01	6
Guarabira	0,15	12,00	1,74	0,01	0,86	0,27	65
Itapororoca	0,35	5,00	2,68	-	-	-	11
Jacaraú	-	-	-	-	-	-	4
Juarez Távora	0,51	3,80	2,05	0,02	0,84	0,49	16
Lagoa de Dentro	0,31	4,00	2,18	0,02	0,16	0,11	6
Lagoa seca	0,08	10,00	1,23	0,01	0,04	0,03	58

Município	Vazão de estabilização Mínima (m³/h)	Vazão de estabilização máximas (m³/h)	Vazão de estabilização média (m³/h)	Vazões específicas mínimas (m³/h/m)	Vazões específicas máximas (m³/h/m)	Vazão específicas média (m³/h/m)	Poços Equipados
Lucena	16,66	80,00	37,79	4,77	4,77	4,77	21
Mamanguape	0,50	12,00	4,33	-	-	-	15
Marcação	8,00	8,00	8,00	-	-	-	9
Mari	2,50	2,50	2,50	-	-	-	3
Massaranduba	0,07	3,60	1,25	0,00	0,81	0,18	21
Mataraca	-	-	-	-	-	-	3
Matinhas	-	-	-	-	-	-	4
Montadas	0,18	3,00	1,59	0,02	0,25	0,14	4
Mulungu	0,17	2,18	1,24	0,01	1,13	0,43	32
Pedro Regis	1,70	1,70	1,70	-	-	-	9
Pilões	1,50	3,00	2,25	-	-	-	9
Pilõezinhos	0,90	11,00	5,30	-	-	-	17
Pirpirituba	1,84	13,00	5,66	0,31	1,52	0,81	13
Pocinhos	0,16	8,02	2,78	0,00	3,00	0,37	69
Puxinanã	1,20	2,60	1,86	-	-	-	15
Remígio	0,50	3,78	1,84	0,04	0,40	0,13	11
Rio Tinto	2,00	46,44	18,70	1,31	1,52	1,42	36
Santa Rita	0,38	19,80	6,12	0,36	4,76	1,57	58
Sape	0,70	10,00	2,77	-	-	-	30
Serra da raiz	-	-	-	-	-	-	2
Serra redonda	-	-	-	-	-	-	17
Serraria	0,80	8,00	3,08	0,04	0,44	0,24	12
Sertãozinho	0,48	0,48	0,48	0,03	0,03	0,03	4
Solânea	0,10	8,00	3,43	0,15	2,33	1,24	15

A partir dos dados observados, percebe-se que a produtividade dos poços é caracterizada principalmente como produtividade fraca e moderada. As classes utilizadas para classificação foram: i) $Q_{esp} < 0,5$ m³/h/m - produtividade fraca; ii) $0,5 \leq Q_{esp} < 3$ m³/h/m - produtividade moderada; iii) $3 \leq Q_{esp} < 12$ m³/h/m - produtividade elevada e; iv) $Q_{esp} \geq 12$ m³/h/m - produtividade muito elevada (CORREA *et al.*, 2016). Os poços que se caracterizam como pouco produtivos ou não aquíferos estão localizados nos municípios de Areia, Algodão de Jandaira, Esperança, Lagoa Seca e Sertãozinho. O poço que apresentou maior produtividade fica no município de Lucena, caracterizado como de produtividade elevada.

A **Tabela 6-2** exibe a profundidade do nível da água dentro do poço, quando este está em repouso. Em média, os poços mais profundos estão localizados nos municípios de Bananeiras, Curral de Cima, Mamanguape, Pedro Regis, Santa Rita e Serraria, enquanto os mais rasos ficam nos municípios de Arara, Duas estradas, Lagoa de Dentro, Marcação e Mari.

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

Município	Nível mínimo (m)	Nível máximo (m)	Nível médio (m)	Poços Equipados
Alagoa grande	1,67	16,00	7,45	21
Alagoa nova	0,60	8,00	4,30	2
Alagoinha	0,50	22,85	8,67	20
Algodão de Jandaira	1,67	6,36	3,51	6
Araçagi	0,10	11,50	4,29	22
Arara	0,00	3,00	1,93	8
Areia	1,50	9,00	4,96	14
Areial	-	-	-	1
Baia da Traição	1,00	18,00	7,38	10
Bananeiras	3,70	36,00	15,59	22
Belém	-	-	-	4
Borborema	-	-	-	4
Capim	-	-	-	6
Casserengue	3,10	8,00	4,70	6
Cruz do espirito santo	1,10	16,00	5,51	76
Cuité de Mamanguape	2,00	2,00	2,00	4
Cuitegi	2,00	3,00	2,50	12
Curral de cima	10,00	18,00	12,67	8
Duas estradas	1,40	1,40	1,40	7
Esperança	0,40	21,00	10,70	6
Guarabira	0,30	27,00	3,19	65
Itapororoca	2,00	16,00	9,00	11
Jacaraú	1,00	5,50	3,00	4
Juarez Távora	0,65	7,00	4,23	16
Lagoa de dentro	0,73	3,11	1,63	6
Lagoa seca	0,00	32,00	6,54	58
Lucena	0,10	1,80	1,34	21
Mamanguape	0,30	60,00	21,22	15
Marcação	1,50	1,50	1,50	9
Mari	0,25	0,25	0,25	3
Massaranduba	2,45	13,00	6,76	21
Mataraca	-	-	-	3
Matinhas	-	-	-	4
Montadas	8,00	14,00	10,52	4
Mulungu	0,02	18,00	7,70	32
Pedro Regis	9,00	35,00	22,00	9
Pilões	0,50	2,00	1,25	9
Pilõezinhos	1,00	4,00	2,83	17
Pirpirituba	2,00	5,35	3,14	13
Pocinhos	0,00	35,00	6,73	69
Puxinanã	0,20	6,00	2,75	15
Remígio	2,70	14,00	9,14	11
Rio tinto	0,50	6,00	3,46	36
Santa Rita	1,50	74,00	17,92	58
Sape	1,00	20,00	6,60	30
Serra da raiz	-	-	-	2
Serra redonda	2,13	17,00	9,57	17

Município	Nível mínimo (m)	Nível máximo (m)	Nível médio (m)	Poços Equipados
Serraria	1,30	48,00	16,47	12
Sertãozinho	2,71	2,71	2,71	4
Solânea	2,00	30,00	9,91	15

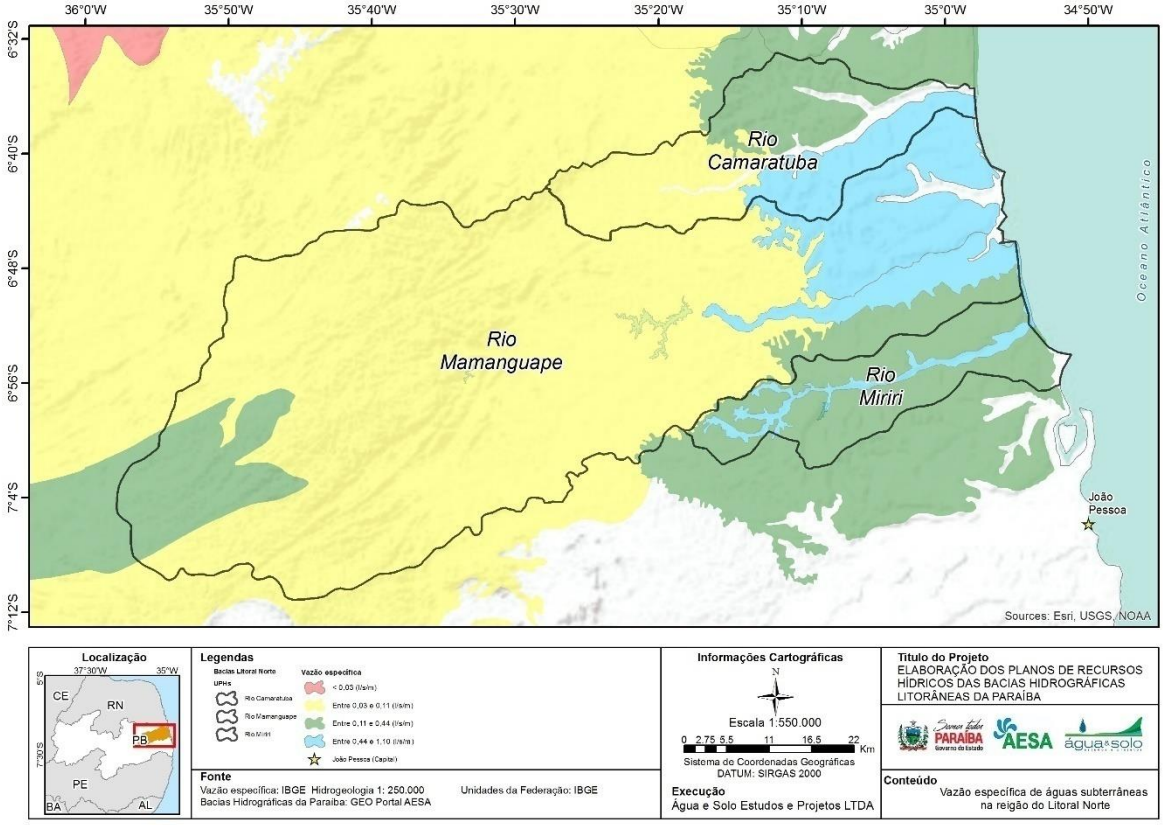


Figura 6-2. Vazão específica de águas subterrâneas (L.s.m).
Fonte: Acervo próprio, 2022

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, constando no mínimo os Sólidos Totais Dissolvidos, Coliformes Termotolerantes e Nitrato. Contudo, a Resolução 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 BHLN referem-se às análises químicas de água bruta dos poços operados pela CAGEPA no município de Lucena. 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 inicial 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° 888 de 2021 do Ministério da Saúde.

Destaca-se que apenas os dados de qualidade dos poços presentes no município de Lucena estão disponíveis, apresentados na **Tabela 6-3**.

As águas subterrâneas do município de Lucena se apresentaram próprias para o consumo humano, de acordo com a Resolução CONAMA n° 396/2008. Com ressalva aos Coliformes Totais, que apresentaram teores acima dos valores máximos permitidos em inúmeros pontos, indicando aos usos para dessedentação animal, irrigação ou recreação. Quanto ao padrão de potabilidade, descrito pela Portaria n° 888 de 2021, praticamente todos os poços apresentaram valores dentro dos limites permitidos.

É importante salientar que no Relatório Parcial 04 (RP4), referente ao Diagnóstico das BHLN, 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.

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

Parâmetros	Unidade	Localidade - Lucena																
		Costinha	Gamileira	Lucena - Poço 1	Lucena - Poço 2	Para de Lucena Br 1	Poço 1	Poço 1	Poço 2	Ponta de Fagundes	Ponta de Lucena	Praia de Fagundes	Praia de Fagundes - Costinha	Praia de Lucena	Praia Ponta de Lucena	Vieira	Vieira - Poço 1	Vieira - Poço 2
Alc. Em Bicarbonato	mg/1 CaC03	169,00	164,49	158,85	158,33	168,01	165,12	165,41	160,69	161,25	157,73	169,27	161,58	141,35	132,04	95,83	122,15	3,23
Alc. Em carbonato	mg/1 CaC03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alc. em Hidróxido	mg/1 CaC03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alcalinidade Total	mg/1 CaC03	209,58	260,30	167,21	13,07	208,50	161,41	222,00	155,80	192,90	117,33	215,46	262,70	178,60	240,65	43,20	241,07	3,90
Cloretos	mg/1 / CI	64,72	249,20	24,95	18,94	90,50	90,94	21,40	40,20	225,10	279,51	232,80	60,13	14,30	167,05	17,90	20,63	17,10
Dióxido de Carbono	mg/1	29,36	36,20	14,77	61,45	13,20	14,87	30,80		25,00	36,36	20,72	28,60	8,40	14,30	83,60	16,73	93,80
Dureza em Cálcio	mg/1 CaC0 3	112,58	152,80	85,00	16,80	117,20	129,46	75,80	37,06	138,00	98,74	184,78	148,60	97,60	141,50	11,40	84,33	6,73
Dureza em Magnésio	mg/1 CaC0 3	105,99	99,60	86,80	57,03	58,60	72,71	51,60	98,51	145,00	175,46	117,66	57,13	19,80	86,10	46,80	38,60	18,47
Dureza Total	mg/1 CaC0 3	220,56	252,40	167,51	73,83	175,80	202,17	-	168,29	283,00	288,81	302,90	205,73	117,40	227,60	34,80	122,93	25,20
Nitratos	mg/1	0,26	-	0,02	0,02	-	0,03	1,80	2,50	-	0,16	0,01	-	-	-	-	-	-
Nitritos	mg/1	0,03	-	0,05	0,01	-	0,04	0,00	9,51	-	0,01	0,04	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	550,00	1097,00	384,00	110,61	566,00	481,57	-	266,56	1150,00	1045,00	1013,63	560,67	284,00	718,00	148,5 0	400,67	211,20
Salinidade	96o	0,24	0,54	0,16	0,06	0,28	0,21	-	0,10	0,57	0,52	0,42	0,27	0,14	0,36	0,07	0,19	0,05
Turbidez	UT	1,08	1,40	0,58	0,72	2,10	0,49	1,10	0,89	4,50	1,06	1,15	1,97	1,60	0,70	2,00	1,50	0,93
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/1	218,86	766,00	275,14	77,93	385,00	338,86	28,30	130,62	802,00	346,43	705,40	380,00	190,00	492,50	98,30	270,00	72,93
Oxig. Consumido	mg/1	2,36	3,00	1,76	2,32	4,00	0,75	2,20	1,60	2,70	3,37	1,83	3,50	4,10	3,60	3,00	3,43	3,57
pH	-	7,40	7,20	7,76	5,13	7,70	7,63	7,70	6,36	7,40	7,39	7,45	7,53	7,90	7,65	6,10	7,73	4,70
Cor aparente	UH	3,66	0,80	6,10	5,56	0,40	4,31	3,10	3,93	3,10	3,82	3,43	2,53	4,40	1,90	1,10	2,17	1,77
Temperatura	ºC	24,95	21,10	25,03	24,89	22,00	24,84	24,40	24,79	25,00	24,48	24,46	23,87	22,10	24,25	21,50	23,63	23,23
E. Coli ou Termotolerantes	NMP/ 100 mi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes Totais	NMP/ 100 mi	35,69	0,00	0,89	1,31	0,00	29,19	5,20	0,17	0,00	0,11	8,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,67

Parâmetros	Unidade	Localidade - Lucena																
		Costinha	Gamileira	Lucena - Poço 1	Lucena - Poço 2	Para de Lucena Br 1	Poço 1	Poço 1	Poço 2	Ponta de Fagundes	Ponta de Lucena	Praia de Fagundes	Praia de Fagundes - Costinha	Praia de Lucena	Praia Ponta de Lucena	Vieira	Vieira - Poço 1	Vieira - Poço 2

Legenda

Usos de acordo com a CONAMA nº396/2008.	Potabilidade de acordo com a Portaria n° 888 de 2021
Consumo humano	Dentro dos limites
Dessedentação animal, Irrigação e Recreação	Fora dos limites

7 Avaliação integrada das disponibilidades hídricas: superficial e subterrânea

De acordo com a Resolução Nº 202, de 28 de junho de 2018 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 BHLN, 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 semiárida 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 $m^3/s.km^2$. A partir desse valor, foram definidas as faixas utilizadas para a Q_{90} como sendo: i) abaixo de 5% da $Q_{média}$, 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.

Os resultados da classificação das disponibilidades hídricas superficiais estão apresentados pelas **Figura 7-1**, **Figura 7-2** e **Figura 7-3**. A partir da classificação proposta, é possível perceber que as partes da bacia hidrográfica do rio Mamanguape que se situam mais no interior do continente apresentam as menores disponibilidades superficiais, sendo que os rio Covão e Araçagi possuem baixa disponibilidade. Já as sub-bacias situadas à jusante do reservatório Araçagi possuem disponibilidade muito alta.

Na bacia do rio Camaratuba, somente a sub-bacia do rio Pitanga que possui disponibilidade muito alta. Nas sub-bacias mais a montante, a quantidade de água disponível é bem mais baixa. Com relação à bacia do rio Miriri, as maiores disponibilidades são referentes às cabeceiras da bacia e as menores são referentes às sub-bacias localizadas mais a jusante.

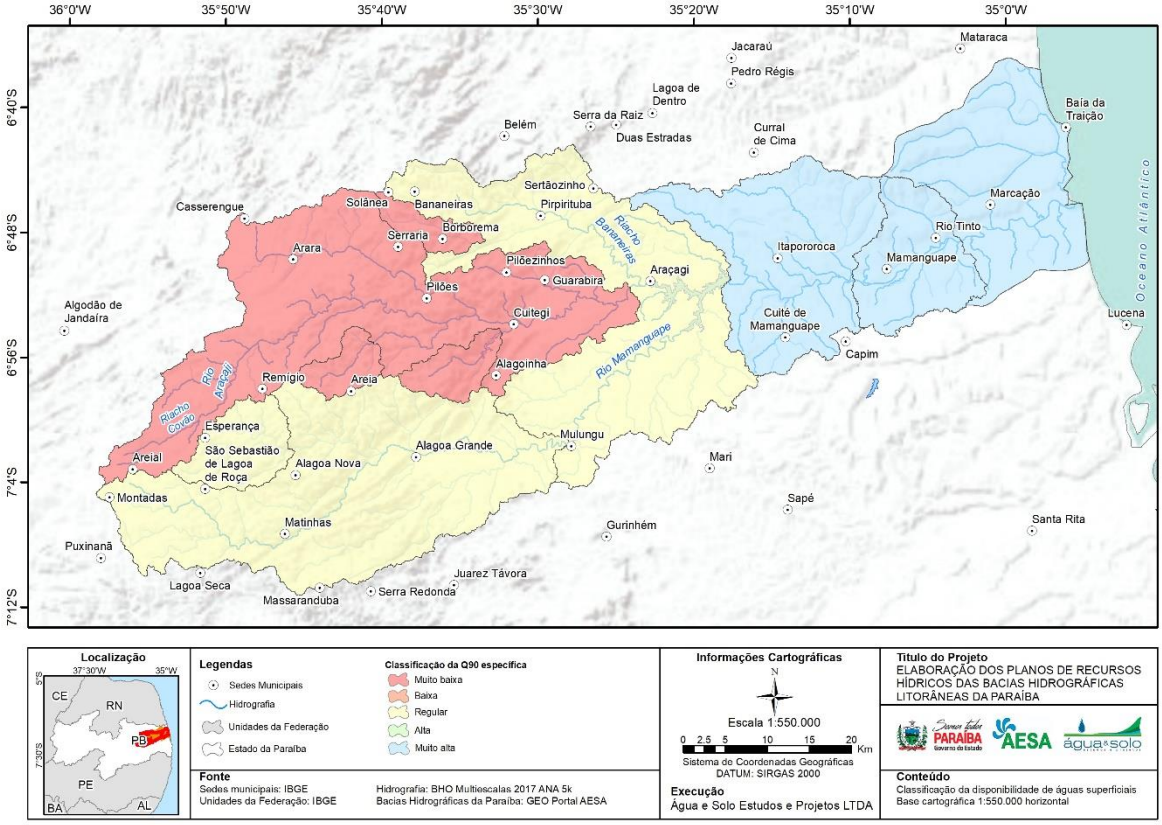


Figura 7-1. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Mamanguape.
Fonte: Acervo próprio, 2022

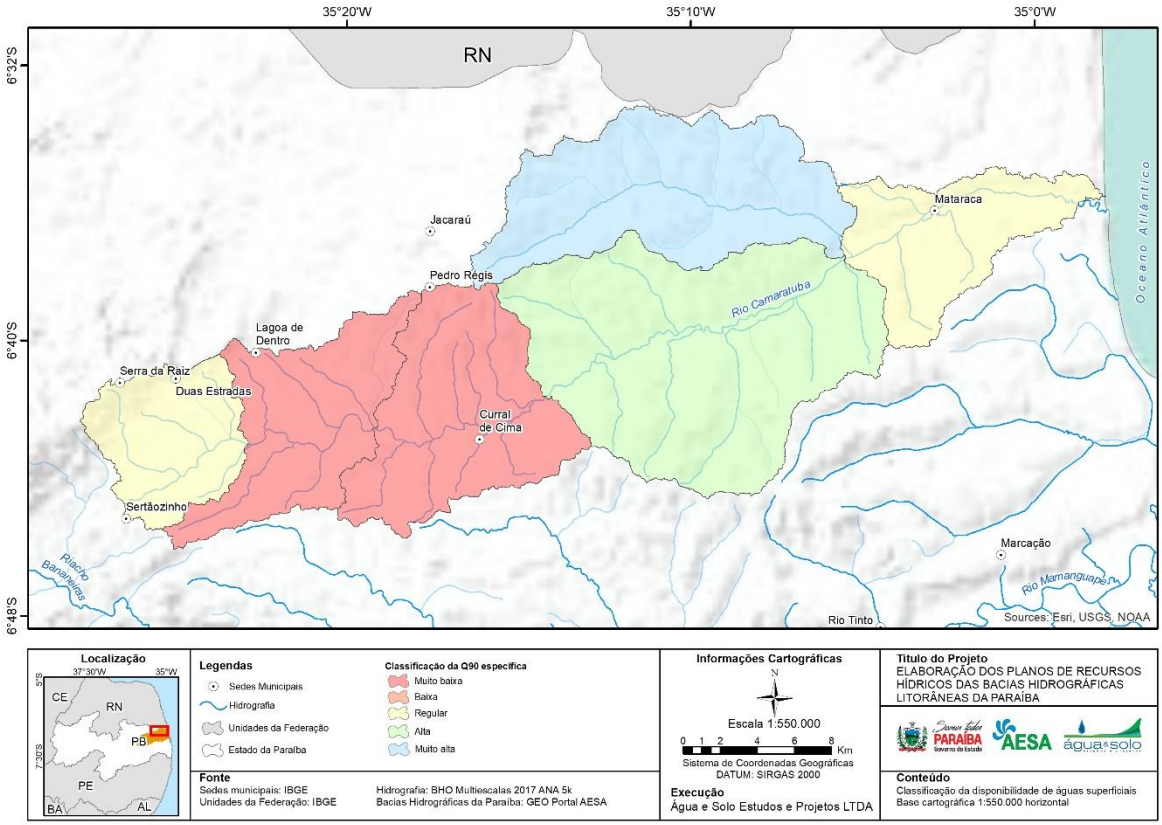


Figura 7-2. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Camaratuba.
Fonte: Acervo próprio, 2022

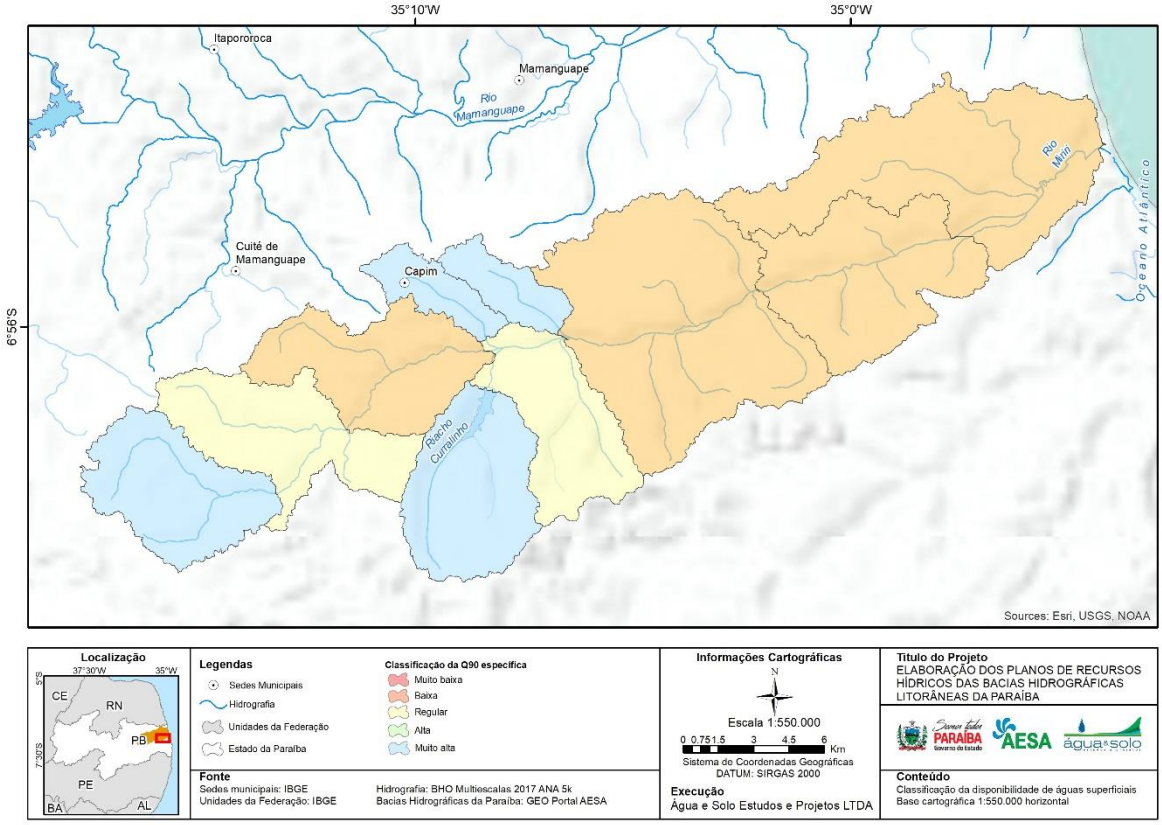


Figura 7-3. Classificação da disponibilidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Miriri.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Já as águas subterrâneas foram classificadas considerando as vazões específicas médias dos postos instalados nos municípios de abrangência das BHLN. As classes utilizadas para classificação foram: i) $Q_{esp} < 0,5$ m³/h/m - produtividade fraca; ii) $0,5 \leq Q_{esp} < 3$ - produtividade moderada; iii) $3 \leq Q_{esp} < 12$ - produtividade elevada e; iv) $Q_{esp} \geq 12$ - produtividade muito elevada (CORREA *et al.*, 2016). Os resultados estão apresentados na **Figura 7-4**. A partir da análise da figura percebe-se que, em geral, a disponibilidade hídrica subterrânea é considerada como baixa e moderada. Apenas o município de Lucena possui disponibilidade elevada.

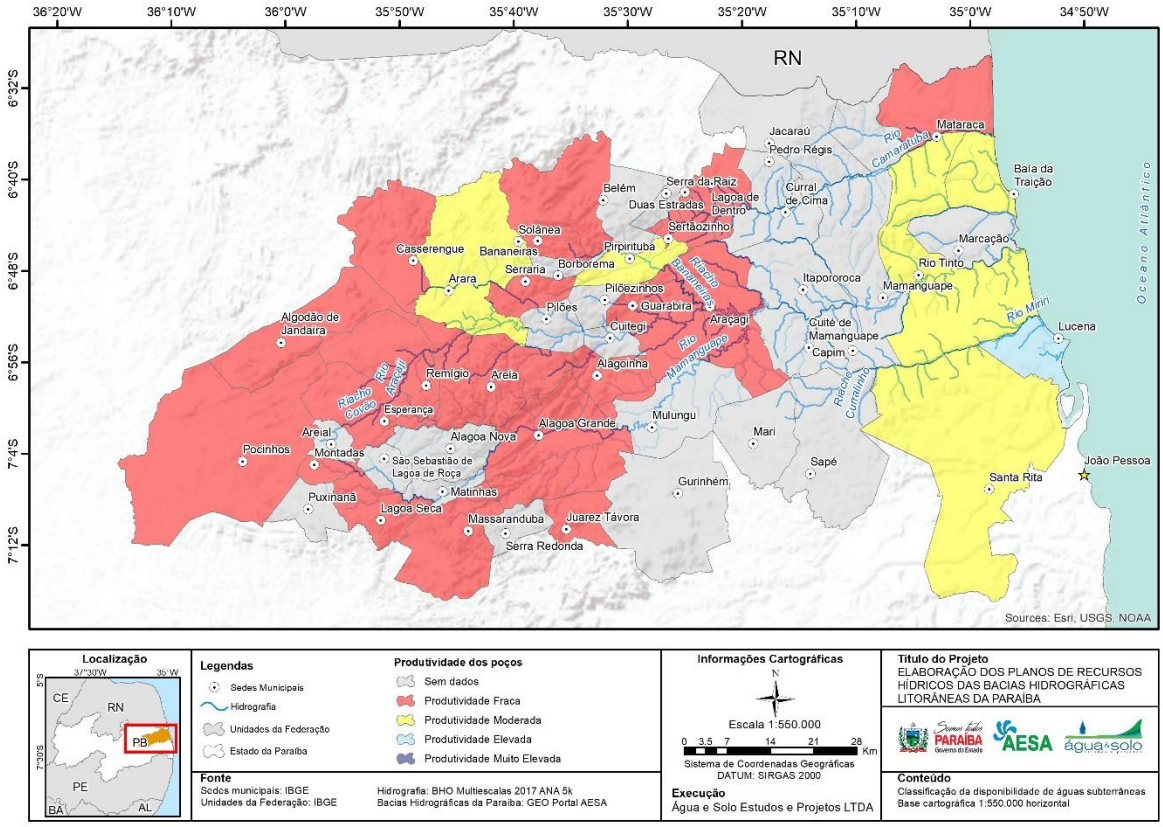


Figura 7-4. Classificação da disponibilidade das águas subterrâneas das BHLN.
Fonte: Acervo próprio, 2022

Com relação à análise da qualidade das águas superficiais foram utilizados os valores médios dos parâmetros apresentados pela Resolução CONAMA n° 357/2005. A classificação utilizada considerou como: i) satisfatória as bacias que apresentaram rios com classes 1 e 2; ii) como usos restritos 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, a **Tabela 7-1** apresenta um resumo da avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea das BHLN.

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
Mamanguape	Muito alta	Usos Restritos	Fraca
Camaratuba	Regular	Usos Restritos	Moderada
Miriri	Alta	Usos Restritos	Moderada

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 BHLN são resultado de simulações realizadas por um modelo hidrológico de transformação chuva em vazão, já que haviam postos de monitoramento instalados somente na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. Isto quer dizer que os valores apresentados pelas tabelas referentes às BH dos rios Camaratuba e Miriri 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 como 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).

No caso das BHLN, a implantação do sistema de monitoramento é importante devido ao fato dessa bacia possuir diversos barramentos e açudes, o que apresenta grande influência na dinâmica das vazões.

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 melhor avaliados a fim de se ter um balanço hídrico mais preciso e, assim, uma gestão integrada mais eficiente.

9 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 E SANEAMENTO BÁSICO (2019a). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA. 75 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2019b). **Monitor de Secas.** Disponível em: https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=6&ano=2022. Acesso em: 15 jul. 2022.

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. 350 p.

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. Nº 1468. Agricultural Research, U. S. Dept. of Agriculture, Washington, D. C.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. (2009). Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado da Paraíba. 95p.

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

GUPTA, H.V.S.; SOROOSHIAN, S. & YAPO, P.O. (1999). **Status of automatic calibration for hydrologic models: comparison with multilevel expert calibration**. Journal of hydrologic engineering, v.4, n.2, p.135-143

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

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_agen da21.pdf. Acesso: 16 set. 2018.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. Van; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.& VEITH, T. (2007). **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** Transactions of the ASABE, 50, p. 885-900.

NASH, J.E.&SUTCLIFFE, J.V. (1970). **River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1— A Discussion of Principles.** Journal of Hydrology, v.10, p. 282-290, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6.

SANTOS, R.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. & FILHO, A.S.M. (2001). **Estimativa do hidrograma de projeto com base na incerteza dos parâmetros do modelo.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, n.1, p. 29-41.

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.**, v..3; n.3, p. 111-131.

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.

10 ANEXOS

Anexo I - Frequência de classes da qualidade da água nas BHLN

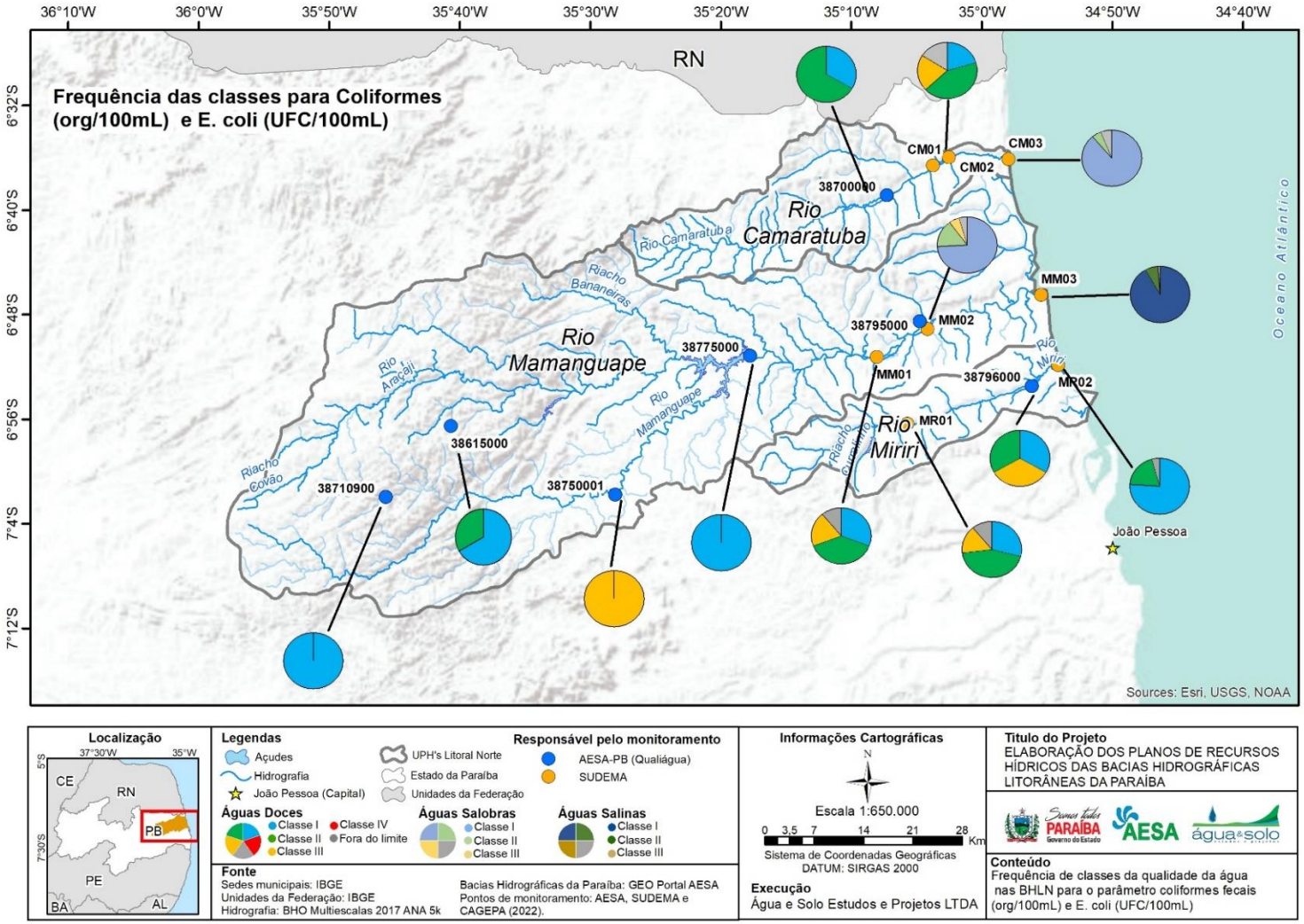


Figura 10.1 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para coliformes fecais e *E.coli*

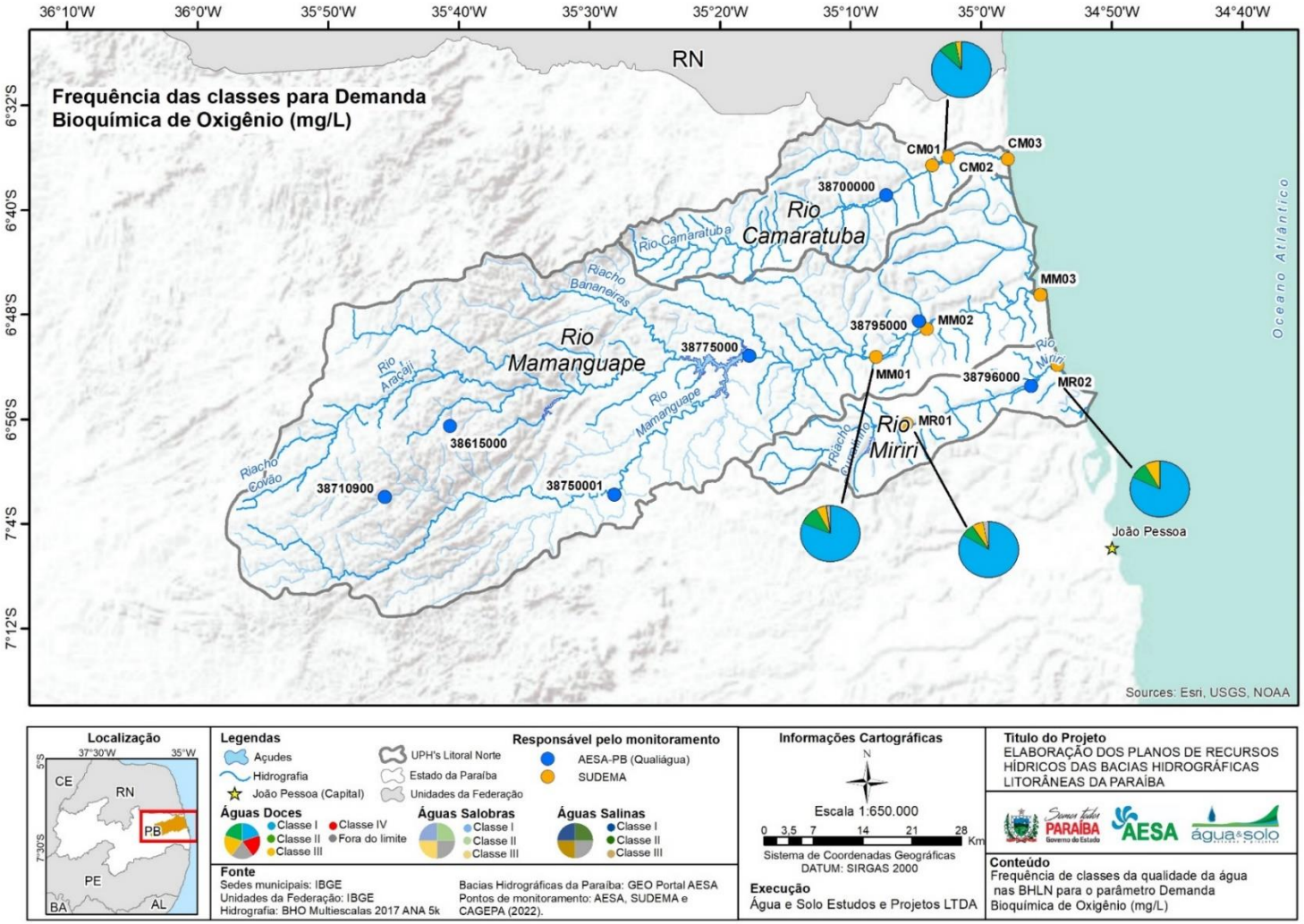


Figura 10.2 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para Demanda Bioquímica de Oxigênio.

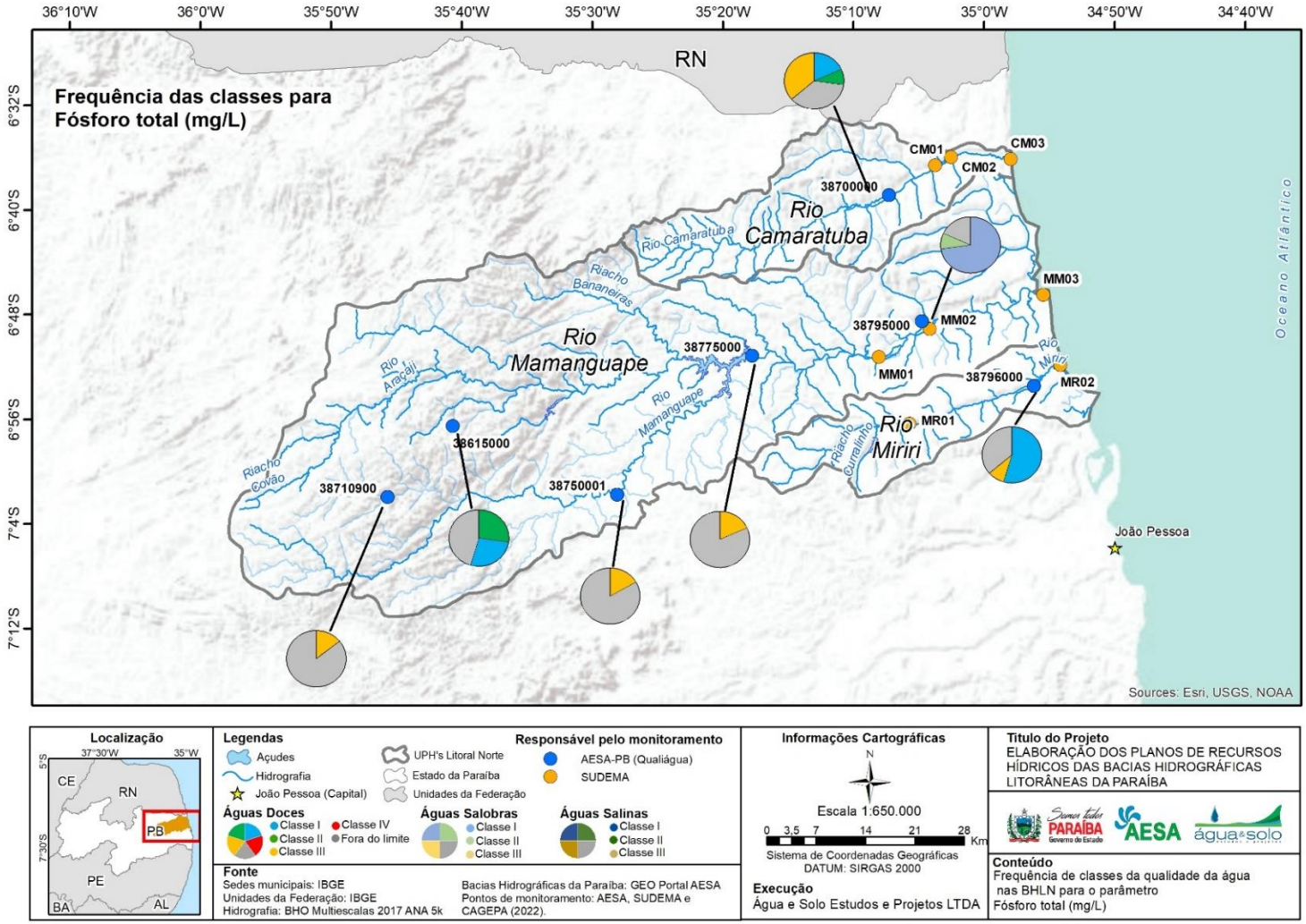


Figura 10.3 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para fósforo total.

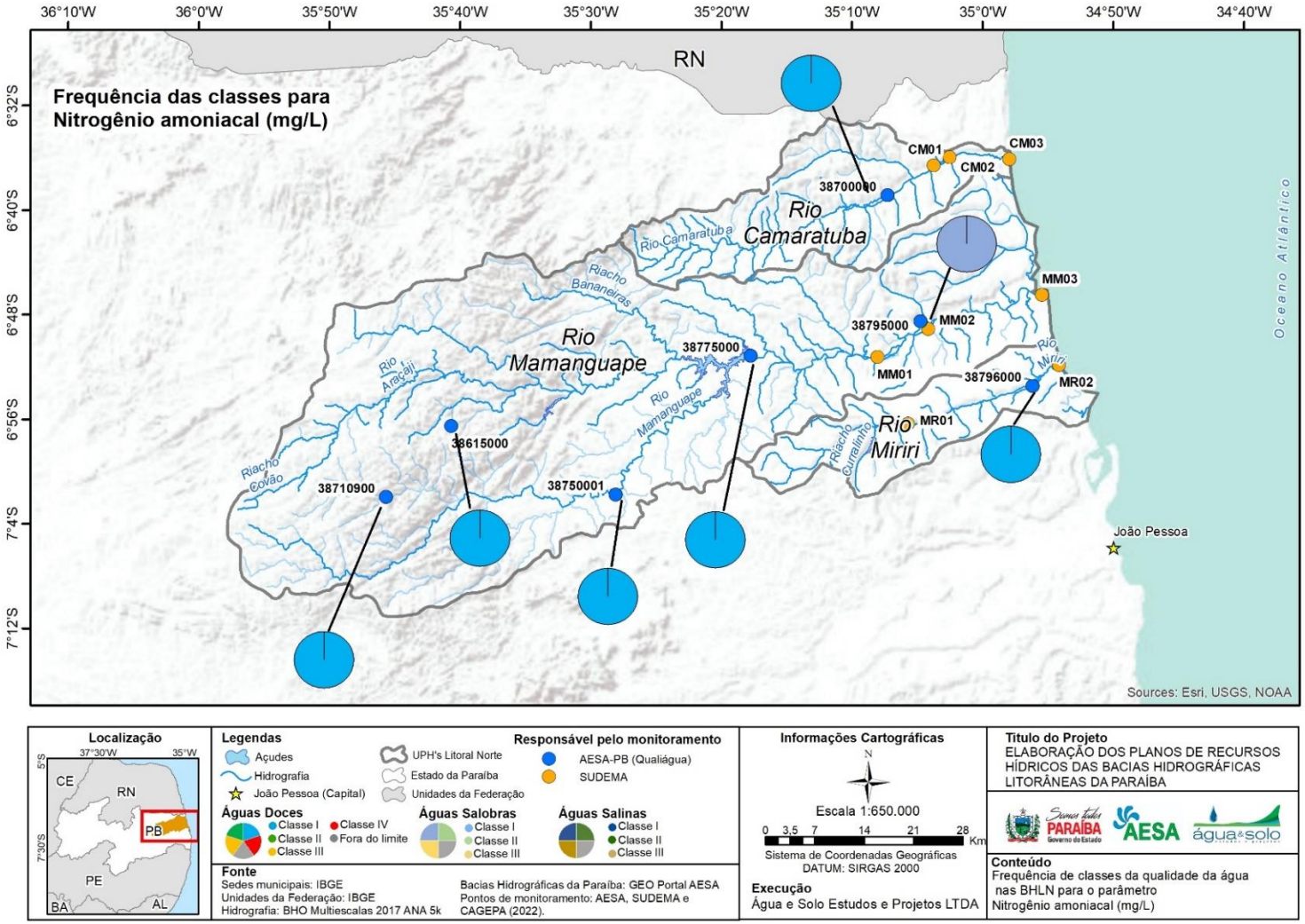


Figura 10.4 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para nitrogênio amoniacal.

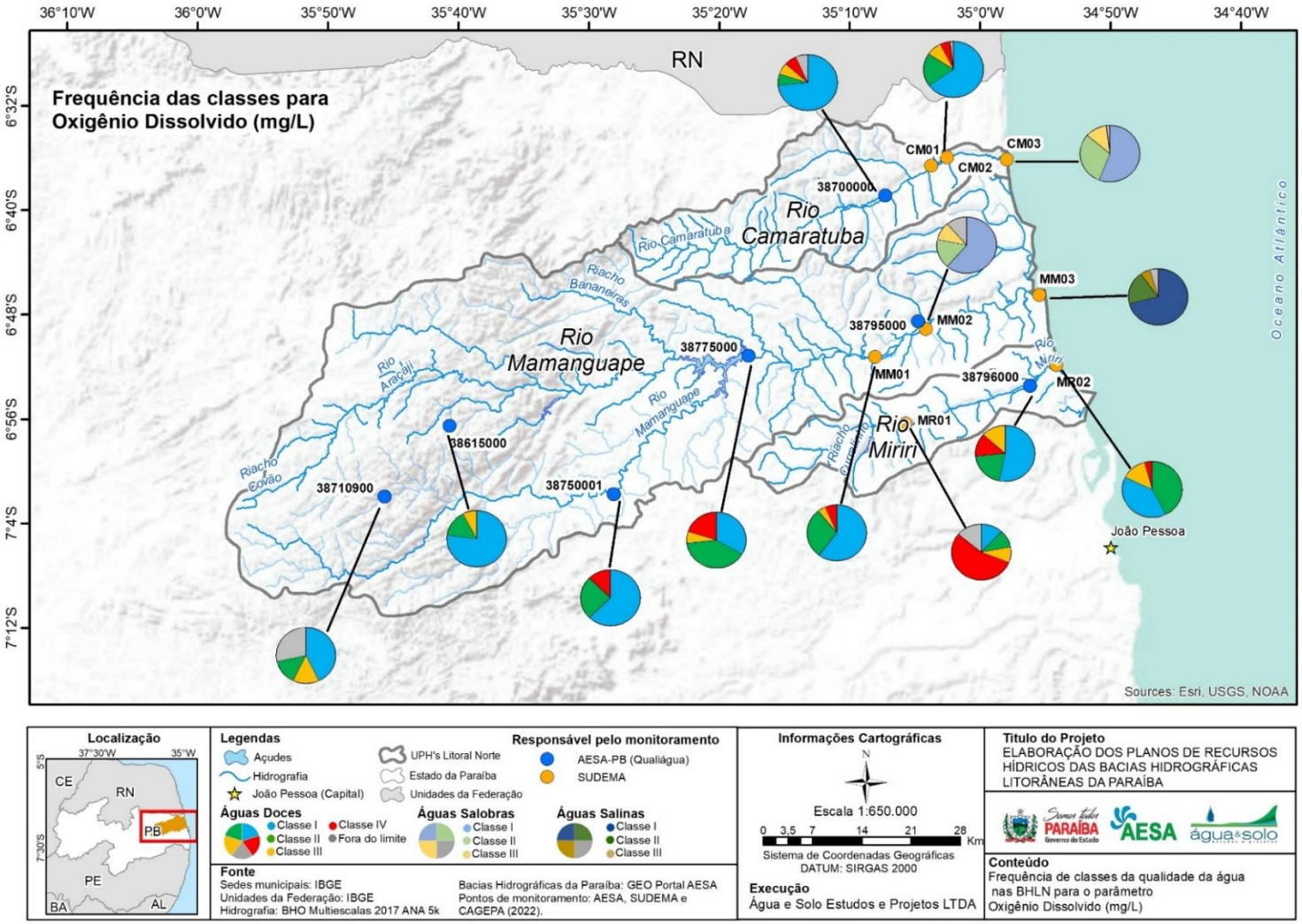


Figura 10.5 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para oxigênio dissolvido.

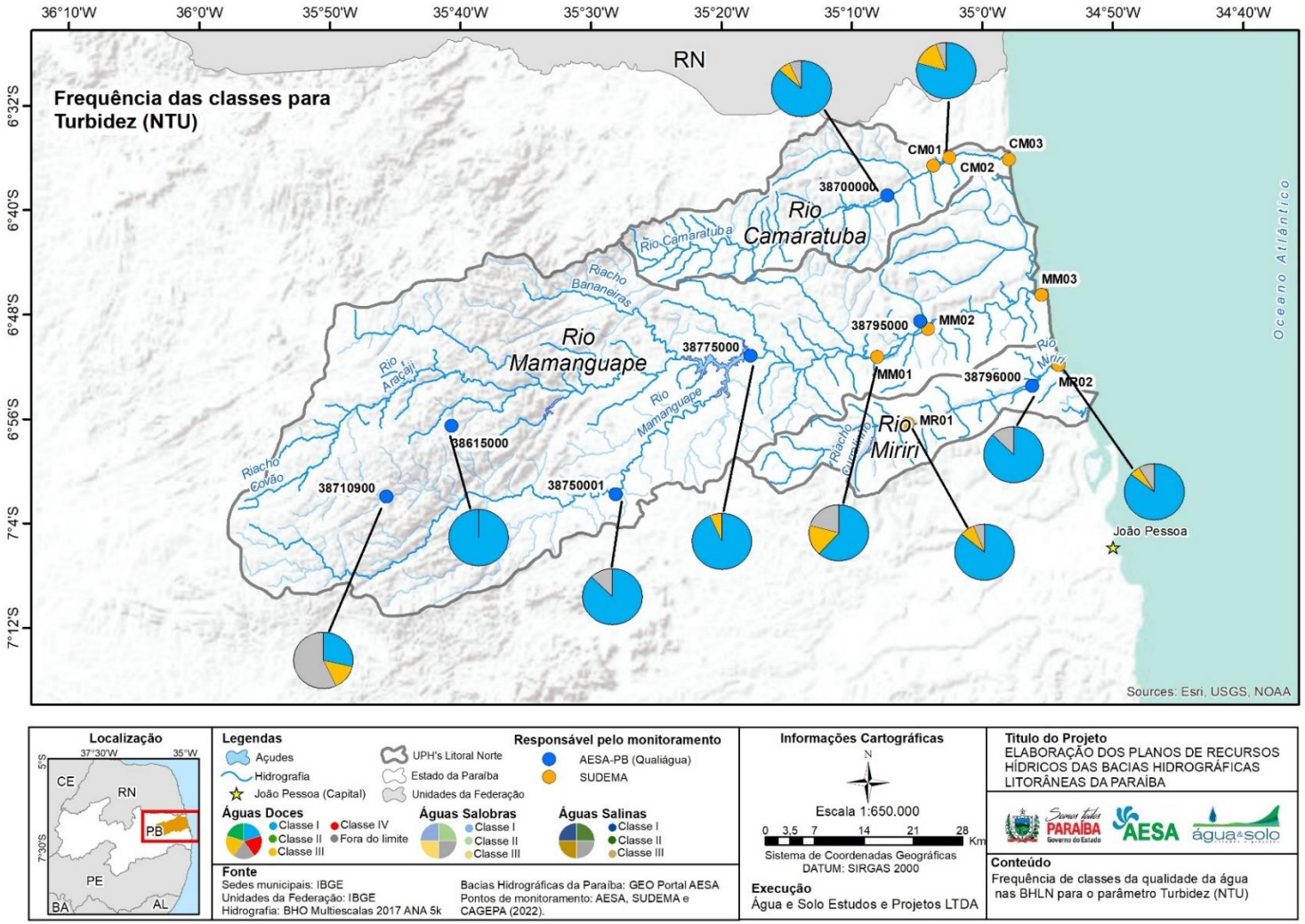


Figura 10.6 - Frequência de classes de qualidade da água nas BHLN para turbidez.