



PROG02 - Demanda Hídrica

Qualitativa - Rios

22006_CILSJ_PROG02_R00

Revisão e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João, no Rio de Janeiro



Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO





DEMANDA HÍDRICA
QUALITATIVA - RIOS

QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento		22006_CILSJ_PROG02_R00	
Título		Demanda Hídrica Qualitativa - Rios	
Aprovação por:		Lawson Francisco de Souza Betrame	
Data da Aprovação:		27/03/2024	
Controle de Revisões			
Revisão N°	Natureza	Data	Aprovação
00	Emissão Inicial	27/03/2024	LB

EQUIPE DA CONTRATANTE

CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos São João

Raquel Trevisan - Secretária Executiva

Cláudia Magalhães - Coordenadora Administrativa

Marianna Cavalcante - Coordenadora de Projetos

Leonardo Nascimento - Analista Técnico

Jéssica Berbat - Analista Técnica

Samara Miranda - Assistente Administrativa

Crislane Santos - Assistente Administrativa

Robson Souza - Assistente Administrativo

Diretoria Colegiada Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João

Eduardo Gomes Pimenta - Presidente do CBH

Caroline Souza Fernandes - Vice-Presidente

Leandro Coutinho de Mattos - Secretário Executivo

Jorge Augusto da Costa Oliveira - Diretor Administrativo do Subcomitê Lagoa de Araruama

Dalva Rosa Mansur Diretora - Administrativa do Subcomitê do rio Una e Cabo de Búzios

Edna Ferreira Calheiros Saraiva - Diretora Administrativa do Subcomitê Lagoa de Saquarema

Gabriela Figueiredo da Conceição - Diretor Administrativo do Subcomitê do rio São João

Grupo de Trabalho para Acompanhamento da Revisão do Plano de Bacia

Prefeitura Municipal

Mário Flávio Moreira (COORDENADOR) - Prefeitura Municipal de São Pedro da Aldeia

Keila Ferreira da Silva - Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo

Flávio Antonio da Costa Gomes - Prefeitura Municipal de São Pedro da Aldeia

Sociedade Civil

Thais Baptista Sanson – Instituto de Pesquisas e Educação para o Desenvolvimento Sustentável – IPEDS

Kátia Regina Martins de Souza Lima – Movimento de Mulheres de Iguaba Grande – MOMIG

Usuário

Caroline Souza Fernandes - Concessionária Águas de Juturnaíba - CAJ

Suzana Nascimento Nunes de Souza - Concessionária Águas de Juturnaíba - CAJ

Felipe Luz Liberato - Prolagos S.A Concessionária

Stephani de Souza Brunetti - Prolagos S.A Concessionária

Jorge Carmo de Mello - Associação Livre dos Aquicultores das Águas do São João - ALA

Irene Alves de Mello - Associação Livre dos Aquicultores das Águas do São João - ALA

EQUIPE DA ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS

EQUIPE CHAVE

COORDENADOR

Lawson Francisco de Souza Beltrame - Engº. Agrônomo - CREA RS010020

GERENTE E COORDENADORA ADJUNTA

Larissa da Silva Soares - Engª Ambiental – CREA RS254720

ESPECIALISTA EM PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Antônio Eduardo Leão Lanna – Engº. Civil - CREA RS006673

ESPECIALISTA EM RECURSOS HÍDRICOS

Luiz Fernando de Abreu Cybis – Engº. Civil - CREA RS039005

ESPECIALISTA EM SANEAMENTO

Mariângela Correia Laydner – Engª. Civil - CREA RS071373

ESPECIALISTA EM HIDROGEOLOGIA

André Luiz Bonacin da Silva – Geólogo - CREA SP5060931217

ESPECIALISTA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Lauro Bassi – Engº. Agrônomo - CREA SC102738

ESPECIALISTA EM DEMOGRAFIA E ECONOMIA

Jana Alexandra da Silva - Cientista Social

ESPECIALISTA EM GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS E SIG

Elisa de Mello Kich – Engª. Ambiental - CREA RS211253

EQUIPE DE APOIO

Fernando Setembrino Cruz Meirelles – Engº. Agrônomo - CREA RS054128

Lucas Rodrigo Kehl – Engº. Ambiental - CREA RS 261618

Laís Helena Mazzali Gaeversen – Engª. Ambiental - CREA RS245799

Lucas Ronzoni Calviera – Eng. Ambiental

Luiza Vivian – Eng. Ambiental

Fernando Moura Antunes – Biólogo

Elvio Giasson – Engº Agrônomo



DEMANDA HÍDRICA QUALITATIVA - RIOS

Fernanda Maysonnave – Designer

Fabiane Cazulo Juchen – Eng^a. Hídrica CREA RS262950

Pomy Yara Meirelles – Mobilização Social

Marques Henrique Campos de Oliveira – Hidrometrista

EQUIPE COMPLEMENTAR

Heloísa Franke – Graduanda em Eng. Ambiental

Pedro Wainberg Bohrer – Graduando em Eng. Ambiental

Julia Rei – Graduanda em Eng. Ambiental

Marcela Teixeira – Graduanda em Eng. Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MODELAGEM DE QUALIDADE DOS RIOS	19
2.1	Síntese metodológica	19
2.2	Descrição do modelo de qualidade de água.....	19
2.3	Dados de entrada.....	21
2.3.1	Cargas de poluição.....	22
2.3.2	Condições iniciais de qualidade de água	25
2.4	Calibração do modelo	26
2.4.1	Métricas de calibração	26
2.4.2	Pontos de monitoramento	27
2.4.3	Parâmetros de calibração do modelo	27
2.5	Calibração da simulação qualitativa	29
2.6	Resultados da simulação qualitativa para os rios da RH-VI.....	32
2.6.1	DBO.....	32
2.6.2	OD	35
2.6.3	Coliformes totais	38
2.6.4	Fósforo Total (FT).....	41
2.6.5	Nitrogênio Amoniacal (NA).....	44
2.6.6	Nitrito (NN)	47
3	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	52

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Fluxograma das Etapas de Revisão e Complementação do PRH-RHVI destaque para a Etapa 3 - Prognóstico.	13
Figura 1.2 - Mapa das UHPs da Região Hidrográfica VI.....	15
Figura 1.3 - Mapa dos municípios na RH-VI.	18
Figura 2.1 - Representação das principais variáveis de simulação por microbacia.	20
Figura 2.2 - Perfil longitudinal do resultado da calibração da grande bacia do rio São João. .	30
Figura 2.3 - Perfil longitudinal do resultado da calibração da bacia do rio Una.	31
Figura 2.4 - Resultado do parâmetro DBO para os rios da RH-VI no cenário Q95.....	33
Figura 2.5 - Resultado do parâmetro DBO para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	34
Figura 2.6 - Resultado do parâmetro OD para os rios da RH-VI no cenário Q95.	36
Figura 2.7 - Resultado do parâmetro OD para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	37
Figura 2.8 - Resultado do parâmetro coliformes para os rios da RH-VI no cenário Q95.	39
Figura 2.9 - Resultado do parâmetro coliformes para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	40
Figura 2.10 - Resultado do parâmetro FT para os rios da RH-VI no cenário Q95.....	42
Figura 2.11 - Resultado do parâmetro FT para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	43
Figura 2.12 - Resultado do parâmetro NA para os rios da RH-VI no cenário Q95.	45
Figura 2.13 - Resultado do parâmetro NA para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	46
Figura 2.14 - Resultado do parâmetro NN para os rios da RH-VI no cenário Q95.	48
Figura 2.15 - Resultado do parâmetro NN para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Características das UHPs da RH-VI.....	16
Tabela 1.2 - Área de cada município dentro da RH-VI.....	17
Tabela 2.1 - Localização dos lançamentos das cargas de efluentes.	22
Tabela 2.2 - Cargas poluentes lançadas pelos esgotos domésticos urbanos.....	24
Tabela 2.3 - Valores finais dos parâmetros de qualidade inicial dos rios para a grande bacia do São João.....	25
Tabela 2.4 - Valores finais dos parâmetros de qualidade inicial dos rios para a bacia do Rio Una.	25
Tabela 2.5 - Classificação de valores do coeficiente PBIAS.	27
Tabela 2.6 - Descrição dos coeficientes de transformação dos parâmetros do modelo.	28
Tabela 2.7 - Valor final dos parâmetros de calibração para a grande bacia do Rio São João..	29
Tabela 2.8 - Valor final dos parâmetros de calibração para a bacia do Rio Una.	30

SIGLAS

SIGLA	DESCRIÇÃO
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
CBH-LSJ	COMITÊ DE BACIA LAGOS SÃO JOÃO
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
DA	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
ETE	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
FT	FÓSFORO TOTAL
GT	GRUPO DE TRABALHO
HGE	HIDROLOGIA EM GRANDE ESCALA
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INEA	INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE
NA	NITROGÊNIO AMONÍACAL
NMP	NÚMERO MAIS PROVÁVEL
NN	NITRITO
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
PBIAS	COEFICIENTE PERCENT BIAS
PERH	PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS
RH	REGIÃO HIDROGRÁFICA
RMSE	ROOT MEAN SQUARED ERROR
UHP	UNIDADES HIDROLÓGICAS DE PLANEJAMENTO



CONSÓRCIO
INTERMUNICIPAL
LAGOS
SÃO JOÃO

FUNDRHI
FUNDO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS



inea
instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



DEMANDA HÍDRICA
QUALITATIVA - RIOS

APRESENTAÇÃO

A **ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS LTDA (CNPJ: 02.563.448/0001-49)** vem apresentar a **MODELAGEM DE QUALIDADE DOS RIOS** para execução das atividades referentes ao Termo de Contrato CILSJ 31/2022, firmado entre a empresa, denominada CONTRATADA, e o **CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO (CNPJ: 03.612.270/0001-41)**, cujo objeto é a **“CONTRATAÇÃO DE SERVIÇO DE PESSOA JURÍDICA PARA A REVISÃO E COMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA LAGOS SÃO JOÃO”**.

1 INTRODUÇÃO

Os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, estabelecidos sob os preceitos da Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamentada pela Lei Federal nº 9.433/97, configura-se como uma ferramenta estratégica para a elaboração de ações voltadas à restauração da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, bem como à preservação dos diversos usos da água. O processo de elaboração desse instrumento segue as diretrizes estabelecidas pela Resolução CNRH nº. 145/2012, estabelecendo minimamente as etapas de diagnóstico, prognóstico e plano de ações. Essas fases abrangem tanto os recursos hídricos superficiais quanto os subterrâneos, estabelecendo metas de curto, médio e longo prazo, juntamente com ações concretas para sua execução.

Atualmente, o Plano de Bacia Hidrográfica da Região Lagos São João publicado em 2005, até a presente data, não passou por revisões. Por este motivo, precisa ser complementado e atualizado, conforme preconizado na política e com objetivo de integrar todos os atores e múltiplos usos da água existentes na bacia.

A fim de aplicar os recursos financeiros devidos ao Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João (CBH-LSJ) e cumprir o que determina o inciso VIII do Artigo 4º da Lei Estadual nº 3239, de 02 de agosto de 1999 (PERH/RJ) que estabelece as diretrizes sobre a proteção das áreas de recarga dos aquíferos, contra poluição e super exploração dos mananciais do Estado do Rio de Janeiro; a Plenária do CBH-LSJ deliberou, por meio de suas Resoluções nº 100 e nº 107, a Elaboração do Plano de Ordenamento de Usos Múltiplos da Laguna de Araruama e a Revisão do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João, respectivamente. Suas implementações, visam à fundamentação e orientação dos tomadores de decisão para fins de proteção, conservação e recuperação dos recursos hídricos da bacia, permitindo a obtenção de uma visão geral da problemática relativa aos variados usos dos recursos hídricos.

Com base nas fases anteriores, que envolveram a elaboração do plano de trabalho e mobilização social, assim como a produção do diagnóstico ambiental da Região Hidrográfica VI, este documento foi elaborado para apresentar o detalhamento do Prognóstico da RH-VI (Figura 1.1). O Prognóstico tem como objetivo oferecer uma visão da evolução da situação dos recursos hídricos da bacia, considerando um ou mais cenários. Além disso, busca proporcionar uma perspectiva de futuro, abordando a compatibilização entre disponibilidades e demandas, tanto qualitativas quanto quantitativas, e levando em conta os interesses internos e externos à bacia.



CONSÓRCIO
INTERMUNICIPAL
LAGOS
SÃO JOÃO

FUNDRHI
FUNDO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS



inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



DEMANDA HÍDRICA QUALITATIVA - RIOS

Assim, esta etapa desempenha um papel crucial no processo de gestão dos recursos hídricos, sendo fundamental para fornecer uma compreensão aprofundada da situação presente e futura da bacia. Este relatório refere-se à avaliação das demandas qualitativas para os rios da RH-VI, análise de extrema importância na etapa do prognóstico.

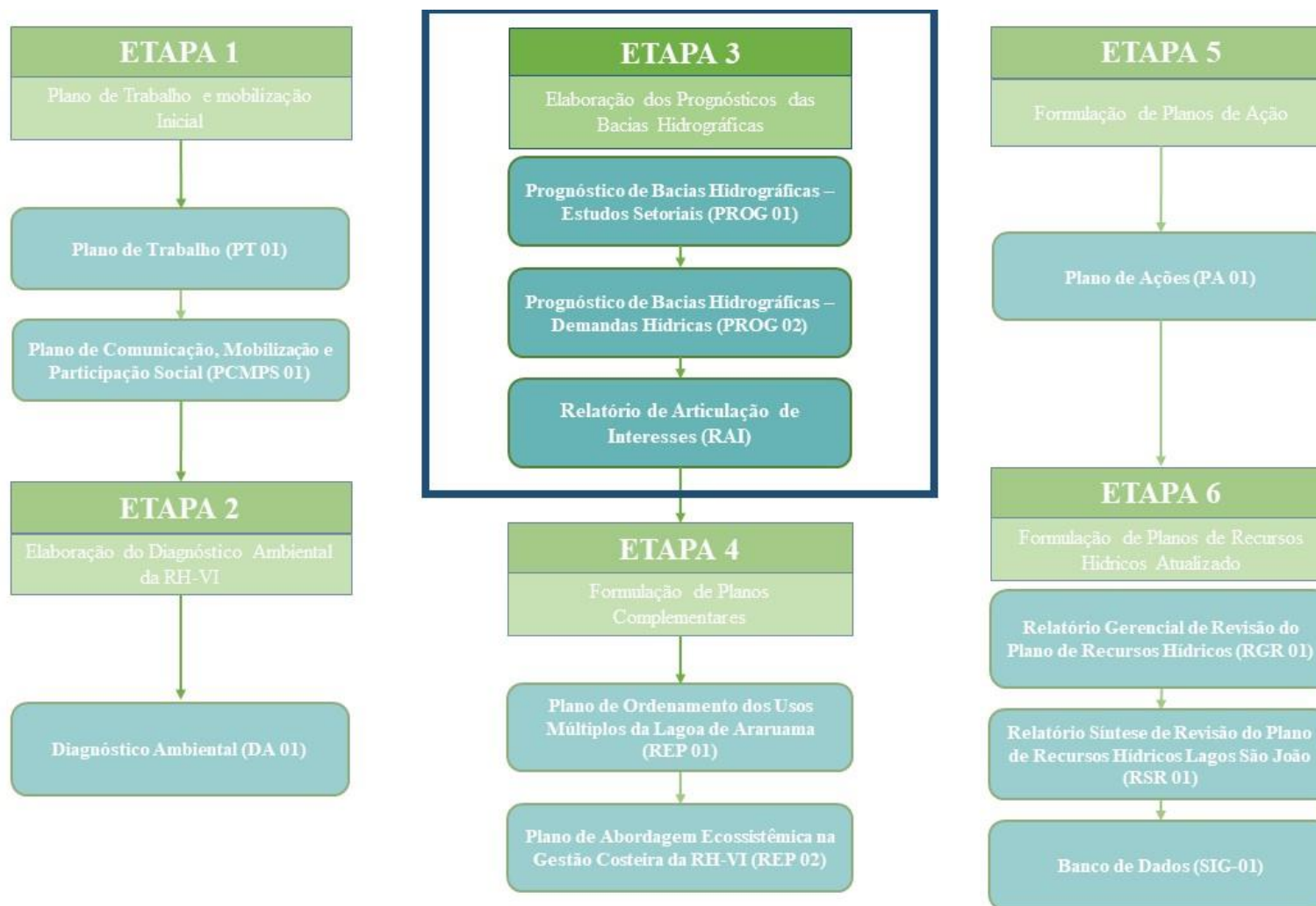


Figura 1.1 - Fluxograma das Etapas de Revisão e Complementação do PRH-RHVI destaque para a Etapa 3 - Prognóstico.

A Região Hidrográfica Lagos São João (RH-VI) é uma das nove regiões estabelecidas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro. Gerenciada pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), a RH-VI abrange as Bacias Hidrográficas do Rio São João, Rio Una, Lagoa de Araruama e Lagoa de Saquarema. Essa área está situada na Região dos Lagos e Baixada Litorânea do Estado do Rio de Janeiro, sendo a Superintendência de Lagos São João (Suplaj) responsável pela gestão ambiental e de recursos hídricos nesse território específico.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (INEA, 2014) estabelece as Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) como subdivisões das Regiões Hidrográficas para análise das disponibilidades e demandas de recursos hídricos. Na RH-VI, o plano original dividiu a região em quatro UHPs: VI-a1 (Rio São João, montante do Reservatório de Juturnaíba), VI-a2 (Rio São João, jusante do Reservatório), VI-b (Rio Una) e VI-c (Búzios, Lagoas Saquarema, Jacaré e Araruama).

Conforme acordado com o Grupo de Trabalho (GT-Plano) e apresentado no relatório do diagnóstico, no âmbito da Revisão e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João, foi realizada uma nova divisão das UHPs para a RH-VI. Essa reestruturação foi orientada pela aplicação de critérios técnicos, buscando uma representação mais precisa da realidade local da região.

A Figura 1.2 destaca a nova divisão das UHPs que serão empregadas no atual Plano de Recursos Hídricos. Em seguida, a Tabela 1.1 apresenta as características fundamentais de cada UHP, incluindo seus principais corpos hídricos (juntamente com os comprimentos parciais dos rios incluídos na UHP e a área das lagoas), bem como a porcentagem da área dos municípios da região abrangida por cada UHP.



Figura 1.2 - Mapa das UHPs da Região Hidrográfica VI.

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 1.1 - Características das UHPs da RH-VI.

UHP	Área Total (km ²)	Principais Corpos Hídricos inseridos na UHP	Área dos municípios inseridos na UHP (% em relação à área total do município)	Sedes municipais inseridas na UHP
VI - a: Rio São João (montante do Reservatório de Juturnaíba)	617,60	Reservatório de Juturnaíba (14,72km ²), Rio São João (51,20km), Rio Crubixais ou Pirineus (16,48km), Rio da Bananeira (16,23km) e Rio Maratuã (14,62km).	Silva Jardim (58,58%), Cachoeiras de Macacu (5,14%), Araruama (2,68%), Rio Bonito (0,23%), Nova Friburgo (0,06%).	-
VI - b: Rio São João (jusante do Reservatório de Juturnaíba)	807,18	Rio São João (81,21km), Rio da Aldeia Velha (30,48km), Rio Dourado (20,44km), Rio Lontra (20,17km) e Vala do Consórcio (19,24km).	Casimiro de Abreu (76,18%), Cabo Frio (44,50%), Araruama (21,70%), Silva Jardim (12,91%), Rio das Ostras (3,88%), São Pedro da Aldeia (2,24%), Nova Friburgo (0,03%), Macaé (0,01%).	Casimiro de Abreu e Rio das Ostras
VI - c: Rios Capivari e Bacaxá	733,32	Reservatório de Juturnaíba (14,85km ²), Rio Bacaxá (43,79km), Rio Capivari (26,18km), Rio das Sete Voltas (17,14km), Rio do Ouro (13,48km).	Rio Bonito (57,51%), Araruama (31,03%), Silva Jardim (28,46%), Saquarema (0,36%), Cachoeiras de Macacu (0,23%)	Silva Jardim
VI - d: Rio Una	462,85	Rio Uma (24,51km), Rio Papicu (20,67km), Rio Carijó (16,71km), Córrego da Bogá (13,30km) e Rio Godinho (9,65km).	São Pedro da Aldeia (65,15%), Iguaba Grande (32,50%), Cabo Frio (30,35%), Armação dos Búzios (18,23%), Araruama (14,47%)	-
VI - e: Lagoa de Saquarema	250,24	Lagoa de Saquarema (23,23km ²), Lagoa de Jaconé (3,16km ²), Rio Roncador (20,08km), Rio Jundiá (12,35km) e Rio Tingui (11,72km).	Saquarema (66,01%), Maricá (4,71%), Rio Bonito (0,11%), Tanguá (0,01%)	Saquarema
VI - f: Lagoa de Araruama	676,93	Lagoa de Araruama (219,49km ²), Lagoa Vermelha (2,46km ²), Lagoa de Jacarepiá (1,55km ²), Rio Santana ou Regamé (17,33km) e Rio do Limão (13,22km).	Arraial do Cabo (100%), Iguaba Grande (67,50%), Saquarema (33,59%), São Pedro da Aldeia (32,62%), Araruama (30,12%), Cabo Frio (17,56%), Rio Bonito (0,17%)	Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo
VI - g: Armação dos Búzios	100,60	Lagoa do Però (0,13km ²), Lagoa de Geribá (0,11km ²), Lagoa da Ferradura (0,11km ²), Lagoa da Praia do Canto (0,03km ²) e Lagoa da Usina (0,01km ²).	Armação dos Búzios (81,56%), Cabo Frio (7,59%)	Armação dos Búzios

De acordo com dados do site do CBHLSJ, a RH-VI abrange 3.648 km² e inclui 13 municípios. Oito municípios (Silva Jardim, Araruama, Cabo Frio, Armação de Búzios, Saquarema, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia e Arraial do Cabo) estão totalmente inseridos na RH-VI, enquanto cinco municípios (Rio Bonito, Cachoeira de Macacu, Casimiro de Abreu, Maricá e Rio das Ostras) têm inserção parcial.

A Figura 1.3 apresenta a localização de cada município na região hidrográfica, incluindo o percentual do território de cada município inserido na RH-VI, com base nos dados do IBGE. A população total desses municípios é de 1.179.076, representando 7% da população do estado (IBGE, 2022c), embora nem todos sejam residentes da RH-VI. A Tabela 1.2 apresenta as áreas de cada município, o percentual dentro da RH-VI e uma análise sobre a localização das sedes municipais na região.

Tabela 1.2 - Área de cada município dentro da RH-VI.

Município	Área (km ²)	Percentual dentro da RH (%)	Sede dentro da RH
Araruama	638,28	100%	Sim
Armação dos Búzios	70,98	100%	Sim
Arraial do Cabo	152,11	100%	Sim
Cabo Frio	413,45	100%	Sim
Cachoeiras de Macacu	954,75	5,36%	Não
Casimiro de Abreu	462,92	76,18%	Sim
Iguaba Grande	50,98	100%	Sim
Maricá	361,57	4,70%	Não
Rio Bonito	459,46	58,01%	Não
Rio das Ostras	228,04	3,87%	Não
São Pedro da Aldeia	332,49	100%	Sim
Saquarema	352,13	100%	Sim
Silva Jardim	937,755	100%	Sim

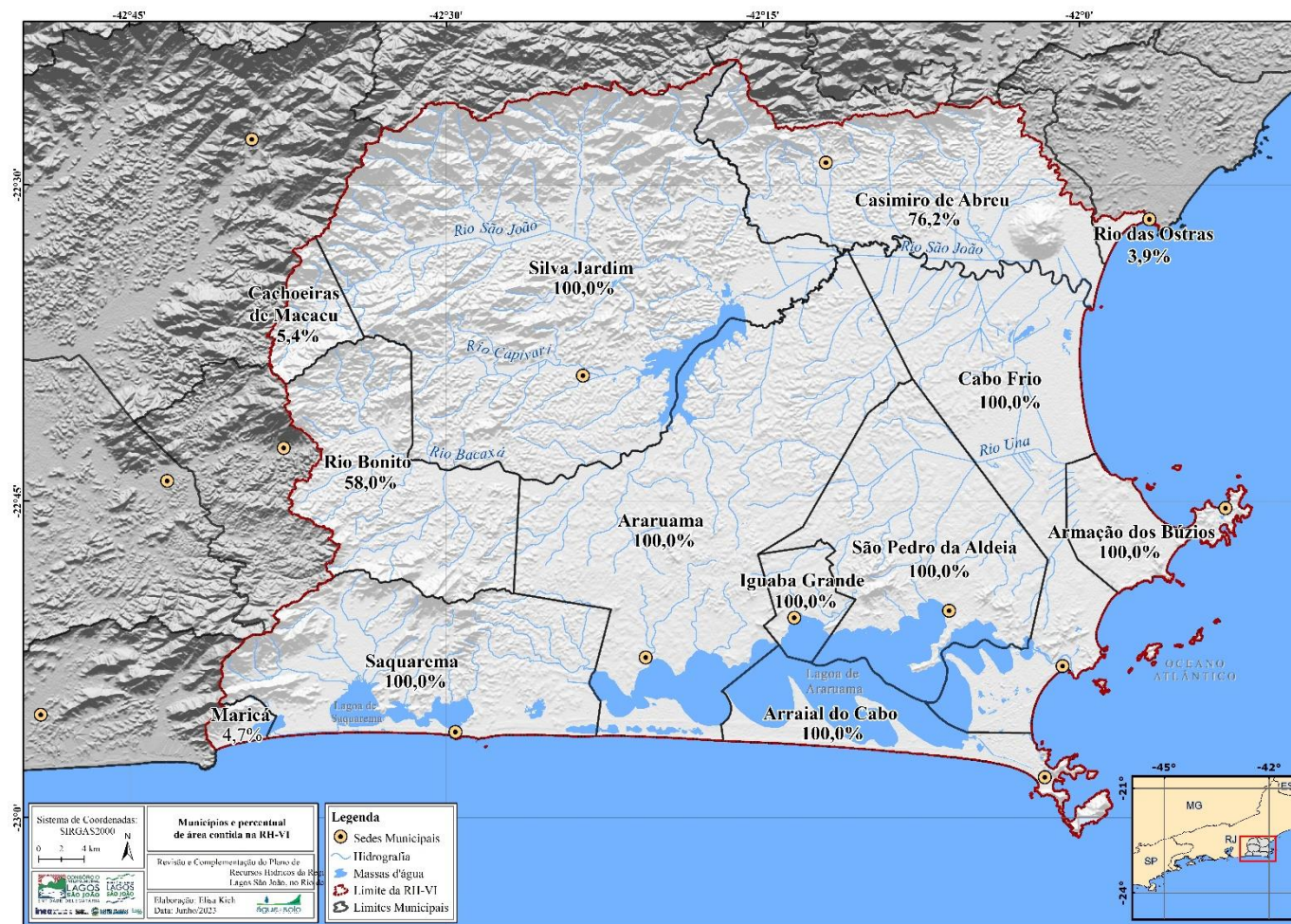


Figura 1.3 - Mapa dos municípios na RH-VI.

Fonte: Elaboração Própria.

2 MODELAGEM DE QUALIDADE DOS RIOS

Neste item será abordada a modelagem de qualidade de água para as regiões lóticas da Região hidrográfica Lagos São João (RH-VI-a, RH-VI-b, RH-VI-c, RH-VI-d), tendo como objetivo simular as condições de qualidade de água e avaliar as demandas hídricas em termos de qualidade.

2.1 Síntese metodológica

Para a realização do balanço hídrico qualitativo foram estimadas as cargas de diferentes poluentes presentes em efluentes urbanos e rurais, considerando um abatimento proveniente do tratamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Essas cargas foram então lançadas nos corpos hídricos em um cenário de referência (Q95) determinado na etapa de disponibilidade hídrica. Para a calibração do modelo utilizaram-se dados de pontos de monitoramento identificados na RH-VI, já apresentados anteriormente na etapa de Diagnóstico.

O modelo de qualidade de água utilizado foi o WARM-GIS (Kayser e Collischonn, 2013; HGE, 2017), de forma integrada ao software QGIS, versão 3.4.11. Este modelo foi aplicado nos ambientes lóticos das seguintes UHPs: RH-VI-a Rio São João montante, RH-VI-b Rio São João jusante, RH-VI-c Rios Capivari e Bacaxá, e RH-VI-d Rio Una. A partir desse momento, como foram simuladas em conjunto, a união das bacias RH-VI-a, RH-VI-b, e RH-VI-c será chamada de bacia do rio São João. Para as UHPs RH-VI-e Lagoa de Saquarema e RH-VI-f Lagoa de Araruama será utilizada uma outra abordagem, visto que essas unidades possuem sistemas com ambientes lênticos, desta forma, nesses locais é necessária a aplicação de um modelo em 2D. Já para a UHP RH-VI-g Armação dos Búzios, a avaliação de qualidade não será realizada, pois na mesma não há drenagem aparente.

2.2 Descrição do modelo de qualidade de água

De acordo com Kayser e Collischonn (2017), o processo de modelagem qualitativa realizado pelo WARM-GIS Tools corresponde a inserção de lançamentos de efluentes de forma contínua no sistema hídrico, adotando um conjunto de soluções analíticas em regime permanente, utilizando modelos de transporte advectivo com reações cinéticas

simplificadas. As equações utilizadas são apresentadas em Sperling (2007), todas em sua forma analítica de resolução. As variáveis da qualidade da água simuladas pelo modelo são:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Oxigênio Dissolvido (OD);
- Nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal e nitrato);
- Fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico);
- Coliformes termotolerantes (fecais) ou E. Coli.

A Figura 2.1 apresenta um esquema do modelo de balanço hídrico qualitativo do WARM-GIS.

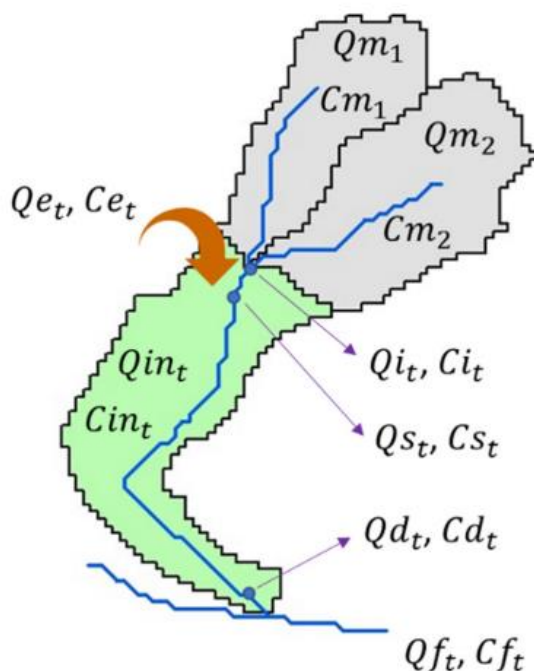


Figura 2.1 - Representação das principais variáveis de simulação por microbacia.
Fonte: Kayser e Collischonn, (2017).

Onde:

Qm_j e Cm_j : representam vazão e concentração final do trecho j à montante do trecho;

Qi_t e $Ci_{t,p}$: representam vazão e concentração inicial do trecho t ;

Qe_t e $Ce_{t,p}$: representam vazão e concentração (ou somatório) das cargas pontuais existentes em qualquer ponto da microbacia correspondente ao trecho t ;

Qs_t e $Cs_{t,p}$: representam vazão e concentração de mistura após a entrada das cargas pontuais no trecho t ;

Qd_t e $Cd_{t,p}$: representam vazão e concentração após os processos de transformação dos constituintes ao longo do trecho t ;

Qf_t e $Cf_{t,p}$: representam vazão e concentração final do trecho t , após a inserção da vazão e concentração incremental.

2.3 Dados de entrada

O balanço hídrico qualitativo calculado pelo modelo WARM-GIS é obtido através dos seguintes arquivos de entrada:

- Topologia da bacia: correspondem aos arquivos vetoriais da drenagem, das minibacias e do arquivo MINI.GTP, os mesmos gerados na etapa de pré-processamento da modelagem hidrológica, utilizando o plugin IPH-Hydro Tools.
- Dados de vazão: os dados de vazão inseridos são obtidos pelo arquivo de saída do modelo MGB, que possui os resultados das vazões obtidas para cada trecho de rio. Podendo-se definir diferentes cenários de disponibilidade hídrica.
- Pontos de lançamento de cargas de poluição: dados referentes as cargas de poluentes, contendo as coordenadas de localização, os valores de vazão efluente e das concentrações das cargas lançadas.
- Definição das condições iniciais: deve-se realizar a definição das condições iniciais do modelo, inserindo as concentrações dos parâmetros – OD, DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes – na condição inicial dos rios, especificamente em suas cabeceiras.
- Definição dos parâmetros de cálculo: Por fim devem ser fornecidos os valores dos coeficientes de decaimento para os parâmetros avaliados, que são uma forma de calibração do resultado do modelo por sub-bacia.

Para o cálculo do balanço de qualidade considerou-se o cenário de vazão Q95 (vazão com 95% de permanência no tempo), pois esta é a vazão de referência utilizada no estado do Rio de Janeiro. Desta forma, o modelo foi calibrado para esse cenário. Adicionalmente, após a calibração, simulou-se também uma condição considerada como a vazão remanescente ao retirar-se a vazão máxima outorgável de 40% da Q95, sendo esse então o pior cenário possível.

2.3.1 Cargas de poluição

As cargas de poluição podem ser de fontes pontuais, originárias dos esgotos industriais e domésticos urbanos, e as fontes difusas, atribuídas ao processo de escoamento superficial e a lavagem do solo provenientes principalmente de áreas com atividades agrícolas.

Os pontos de lançamentos referentes às cargas dos efluentes domésticos urbanos foram atribuídos de acordo com o capítulo 6.3 de Esgotamento Sanitário do Relatório DA01 - Diagnóstico Ambiental, que possui as informações do sistema de esgotamento das sedes municipais. As cargas industriais não foram consideradas como cargas de poluição, já que a RH-VI não possui característica industrial, sendo a principal atividade econômica associada ao turismo, que afeta diretamente os níveis de atendimento de esgotamento sanitário, por isso, a importância das cargas domésticas neste estudo.

Na Tabela 2.1 é possível visualizar o corpo receptor dos esgotos tratados dos municípios inseridos nas UHPs avaliadas nessa primeira etapa. Para a modelagem nessa primeira etapa foram desprezados os lançamentos que ocorrem no Oceano e nas Lagoas, desta forma, foram considerados apenas os lançamentos de Casimiro de Abreu e Silva Jardim na bacia hidrográfica do Rio São João (RH-VI-a, RH-VI-b e RH-VI-c). E o lançamento da ETE Jardim Esperança em Cabo Frio na Bacia Hidrográfica do Rio Una, (RH-VI-d).

Tabela 2.1 - Localização dos lançamentos das cargas de efluentes.

Município	Corpo Receptor
Cabo Frio (ETE Jardim Esperança)	Córrego da Malhada
Casimiro de Abreu	Rio São João, Córrego Tabicú e Rio Indaiaçú
Silva Jardim	Córrego Valão da Caixa e Rio Capivari

Fonte: Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017c)

De acordo com os fluxogramas do sistema de esgotamento sanitário do Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017c) o município de Casimiro de Abreu lança o efluente não tratado em três pontos: Rio São João, Córrego Tabicu e Rio Indaiáçu. O município de Silva Jardim também possui lançamentos em 3 pontos, 1 no Córrego Valão da Caixa e 2 no Rio Capivari, sendo 1 deles de efluente tratado e outro de efluente sem tratamento. Sendo assim, foram estimadas as vazões e concentrações de lançamento em cada um desses pontos.

Para estimar as concentrações de poluentes e vazões de lançamento na bacia do Rio São João utilizou-se uma metodologia de cálculo em função da população atual dos municípios e valores de referência de geração desses poluentes *per capita* estimados por Sperling (2007). Em seguida estimou-se o abatimento dessas cargas de poluentes em função do tratamento aplicado pelas ETEs Silva Jardim e Casimiro de Abreu e pela porcentagem de Soluções Individuais no município (Fossas Sépticas) provenientes do Atlas Esgotos (ANA, 2017c).

Já para o lançamento da ETE Jardim Esperança em Cabo Frio na bacia hidrográfica do Rio Una, por se tratar de apenas uma parcela do efluente total produzido pelo município de Cabo Frio, foram consideradas as informações fornecidas pela Prolagos (empresa que administra essa ETE), referente a vazão e cargas de referência do lançamento dos efluentes no Córrego da Malhada. Na Tabela 2.2 são apresentadas as cargas de poluentes provenientes cargas domésticas e as vazões que foram consideradas nos pontos de lançamentos para a modelagem de qualidade de água.

A poluição difusa não foi considerada, isso deve-se ao fato de que o cenário escolhido para o diagnóstico de qualidade ser um cenário de vazão mínima. Em cenários de vazões mínimas (como a Q95), presume-se que as condições hidrológicas sejam de estiagem, ou seja, nenhuma ou pouca chuva nesse período. Sendo assim, o escoamento superficial responsável pelo carreamento destas cargas difusas não está ocorrendo e pode ser desconsiderado.

Vale ressaltar que as cargas foram convertidas para o formato de concentração (mg/L) que é o formato que os dados de entrada devem ser fornecidos para o modelo.

Tabela 2.2 - Cargas poluentes lançadas pelos esgotos domésticos urbanos.

Município	Corpo Receptor	Vazão do efluente (m³/s)	DBO (Kg/dia)	Coliformes (NMP/dia)	Fósforo Orgânico (kg/dia)	Fósforo Inorgânico (kg/dia)	Nitrogênio Orgânico (kg/dia)	Nitrogênio Amoniacal (kg/dia)
Casimiro de Abreu	Rio Indaiacú	0,029	1187,9	8,72E+08	6,60	15,4	77,0	99,0
Casimiro de Abreu	Córrego Tabicú	0,0087	354,0	8,72E+08	1,97	4,6	22,9	29,5
Casimiro de Abreu	Rio São João	0,008	325,5	8,72E+08	1,81	4,2	21,1	27,1
Silva Jardim	Córrego Valão da Caixa	0,00038	25,9	1,46E+11	0,14	0,34	1,7	2,2
Silva Jardim	Rio Capivari (tratado)	0,011	115,9	1,46E+07	2,57	6,0	30,0	38,6
Silva Jardim	Rio Capivari (não tratado)	0,00057	38,9	1,46E+11	0,22	0,50	2,5	3,2
Cabo Frio	Córrego da Malhada	0,16	553,0	3,5E+05	20,7	34,6	0	276,5

2.3.2 Condições iniciais de qualidade de água

No WARM-GIS Tools é necessário definir a condição inicial dos rios, especificamente em suas cabeceiras, inserindo-se os valores de concentração dos parâmetros (OD, DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes) nesses locais. De forma geral, tais valores devem ser ajustados, se possível, de acordo com os valores dos parâmetros das estações de monitoramento localizadas nas cabeceiras dos rios; No entanto, quando esses dados não existem ou não estão disponíveis pode-se adotar valores padrões, como os valores sugeridos pelo próprio modelo. Sendo assim, no presente estudo inicialmente optou-se por utilizar os valores médios desses parâmetros, que foram sugeridos pelo modelo, e à medida que o modelo foi sendo calibrado esses valores foram também ajustados para se aproximarem dos dados observados. Os valores finais dos parâmetros de cabeceira para cada região se encontram na Tabela 2.3 e na Tabela 2.4.

Tabela 2.3 - Valores finais dos parâmetros de qualidade inicial dos rios para a grande bacia do São João.

Parâmetro	Valor
DBO (mg/L)	3 (cabeceiras), 5 (afluentes), 7 (rio principal)
OD (mg/L)	7
Coliformes (org/100mL)	100
Fósforo Orgânico (mg/L)	0,01
Fósforo inorgânico (mg/L)	0,01
Nitrogênio orgânico (mg/L)	0,1
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,35
Nitrato (mg/L)	0,2
OD de saturação (mg/L)	8
Temperatura da água (°)	20

Tabela 2.4 - Valores finais dos parâmetros de qualidade inicial dos rios para a bacia do Rio Una.

Parâmetro	Valor
DBO (mg/L)	5
OD (mg/L)	6,5
Coliformes (NMP/L)	100
Fósforo Orgânico (mg/L)	0,01
Fósforo inorgânico (mg/L)	0,01
Nitrogênio orgânico (mg/L)	0,1

Parâmetro	Valor
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,1
Nitrato (mg/L)	0,1
OD de saturação (mg/L)	8,5
Temperatura da água (°)	20

2.4 Calibração do modelo

Para a calibração do modelo de qualidade de água é necessário que se ajustem as métricas de calibração de acordo com valores descritos na literatura, buscando adequar os dados simulados com os dados observados dos pontos de monitoramento presentes na bacia. Dessa forma, nessa etapa buscou-se uma boa representatividade do modelo utilizando-se de métricas de calibração sugeridas pelo modelo. Essas métricas são abordadas a seguir.

2.4.1 Métricas de calibração

A análise da qualidade dos resultados obtidos é realizada por meio de comparação de métricas de eficiência do modelo comparando os dados observados e simulados. As métricas consideradas na calibração do modelo foram:

- *Root Mean Squared Error* (RMSE): é uma medida que calcula "a raiz quadrática média" dos erros entre valores observados (reais) e previsões (hipóteses).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_p)^2}{n}} \quad (\text{Equação 2-1})$$

- Coeficiente Percent BIAS (PBIAS): é a medida da tendência média das vazões simuladas serem maiores ou menores que as observadas.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p) * 100}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (\text{Equação 2-2})$$

Onde:

y_i são os valores observados; y_p os valores preditos; n o número de observações.

Para o RMSE o menor valor indica um melhor ajuste dos valores simulados e observados. Já para o coeficiente PBIAS de acordo com a avaliação proposta por Moriase et al (2007), os

valores do coeficiente podem ser classificados nas categorias (insatisfatório, satisfatório, bom e muito bom), conforme Tabela 2.5. Quanto mais próximo de zero melhor o modelo representará a realidade (Moriase et al., 2007).

Tabela 2.5 - Classificação de valores do coeficiente PBIAS.

Classificação	Faixa de valores
Muito bom	$\Delta V \leq \pm 10\%$
Bom	$\pm 10\% < \Delta V \leq \pm 15\%$
Satisfatório	$\pm 15\% < \Delta V \leq \pm 25\%$
Aceitável	$\pm 25\% < \Delta V \leq \pm 30\%$
Não-satisfatório	$\Delta V \geq \pm 30\%$

Fonte: Moriase et al (2007).

2.4.2 Pontos de monitoramento

Os dados de monitoramento são importantes para que seja feita uma calibração adequada do modelo. Desta forma, foram utilizados os dados dos pontos agrupados de monitoramento, que foram apresentados no relatório DA01- Diagnóstico Ambiental. Adicionalmente, para a RH-VI-d Rio Una, foram utilizados também os pontos de monitoramento fornecidos pelo relatório de monitoramento do corpo receptor - Jardim Esperança para o ano de 2022 enviado pela Prolagos.

No modelo foram inseridos os dados de concentrações dos parâmetros – OD, DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerantes obtidos nas campanhas dos pontos de monitoramento em ambiente lótico, conforme já apresentado no Diagnóstico.

Após a simulação, os dados de monitoramento são plotados em diagrama de caixas, sendo essa uma ferramenta gráfica para representar a variação de dados observados de uma variável numérica por meio de quartis.

2.4.3 Parâmetros de calibração do modelo

A calibração dos coeficientes do modelo WARM-GIS Tools foi executada manualmente, por intermédio da alteração direta dos valores dos coeficientes. Para tanto, utilizou-se o procedimento de tentativa e erro, alterando-se os valores dos coeficientes de calibração, em

conjunto com a observação da variação dos perfis longitudinais e das métricas de avaliação (detalhados nos itens 2.4.1 e 2.4.2 respectivamente).

As faixas de variação dos valores dos parâmetros de reação calibrados dos poluentes simulados foram obtidas na bibliografia. Os valores do decaimento para alguns poluentes foram estimados trecho a trecho considerando características físicas do local, como a velocidade, profundidade e largura do trecho. A Tabela 2.6 apresenta as faixas de variação utilizadas dos coeficientes dos parâmetros do modelo.

Tabela 2.6 - Descrição dos coeficientes de transformação dos parâmetros do modelo.

Parâmetro (unidade)	Descrição	Obtenção	Faixa de valores
T (d)	tempo de percurso no trecho	razão entre a velocidade e o comprimento do trecho	-
K_d (d ⁻¹)	Coeficiente de decomposição	parâmetro calibrado	0,1 a 1,0
K_s (d ⁻¹)	Coeficiente de sedimentação da matéria orgânica	razão entre a velocidade de sedimentação da matéria orgânica e a profundidade	0,1 a 0,5
V_{smo} (m.d ⁻¹)	Velocidade de sedimentação da matéria orgânica	parâmetro calibrado	0,01 a 0,1
K_r (d ⁻¹)	Coeficiente de remoção	$K_d + K_s$	-
K_a (d ⁻¹)	Coeficiente de reaeração	parâmetro calibrado ou calculado	0,12 a 10,0
C_{OD_s} (mg.L ⁻¹)	Oxigênio dissolvido de saturação	condição inicial (verificar dados observados sem influência antrópica)	8,5 a 10
K_{oi} (d ⁻¹)	Coeficiente de transformação do fósforo orgânico para inorgânico	parâmetro calibrado	0,01 a 0,7
K_{spt} (d ⁻¹)	Coeficiente de sedimentação do fósforo total	razão entre a veloc. de sedimentação do fósforo total e a profundidade	0,001 a 0,1
V_{spt} (m.d ⁻¹)	Velocidade de sedimentação do fósforo total	parâmetro calibrado	0,01 a 0,05
K_{col} (d ⁻¹)	Coeficiente de decaimento dos coliformes termotolerantes	parâmetro calibrado	0,5 a 1,5

Parâmetro (unidade)	Descrição	Obtenção	Faixa de valores
K_{oa} (d ⁻¹)	Coefficiente de transformação do nit. orgânico para nit. amoniacal	parâmetro calibrado	0,02 a 0,4
K_{an} (d ⁻¹)	Coefficiente de transformação do nit. amoniacal para nitrato	parâmetro calibrado	0,1 a 2,0
K_{den} (d ⁻¹)	Coefficiente de desnitrificação	parâmetro calibrado	0,01 a 0,5
$R_{O_2 amon}$ (mg O ₂ / mg Na)	* Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de amônia oxidada	parâmetro fixo	4,3

2.5 Calibração da simulação qualitativa

A calibração das simulações de qualidade foi conduzida de acordo com a metodologia abordada no tópico anterior. Sendo assim os parâmetros foram calibrados para obter a melhor combinação possível dos dados simulados com os dados observados. O valor final de cada parâmetro utilizado na calibração encontra-se na Tabela 2.7 e Tabela 2.8. Para verificar a qualidade da calibração foi utilizado o módulo de comparação de resultados do modelo, que compila os resultados simulados em um perfil longitudinal dentro da faixa de variação dos parâmetros observados, calculando automaticamente as métricas RMSE e PBIAS e resultando assim na Figura 2.2 e na Figura 2.3.

Tabela 2.7 - Valor final dos parâmetros de calibração para a grande bacia do Rio São João.

Parâmetro	Valor
K_s (d ⁻¹)	0,1
K_d (d ⁻¹)	0,1
K_a (d ⁻¹)	0,5
K_{col} (d ⁻¹)	4
K_{oi} (d ⁻¹)	0,3
K_{oa} (d ⁻¹)	0,25
K_{an} (d ⁻¹)	0,5
K_{den} (d ⁻¹)	0,3
V_{smo} (m.d ⁻¹)	0,01
V_{spt} (m.d ⁻¹)	0,05
Vel (m.s ⁻¹)	0,35

Tabela 2.8 - Valor final dos parâmetros de calibração para a bacia do Rio Una.

Parâmetro	Valor
K_s (d ⁻¹)	0,4
K_d (d ⁻¹)	0,2
K_a (d ⁻¹)	7,5
K_{col} (d ⁻¹)	2
K_{oi} (d ⁻¹)	0,7
K_{oa} (d ⁻¹)	0,25
K_{an} (d ⁻¹)	0,8
K_{den} (d ⁻¹)	0,3
V_{smo} (m.d ⁻¹)	0,1
V_{spt} (m.d ⁻¹)	0,05
Vel (m.s ⁻¹)	0,35

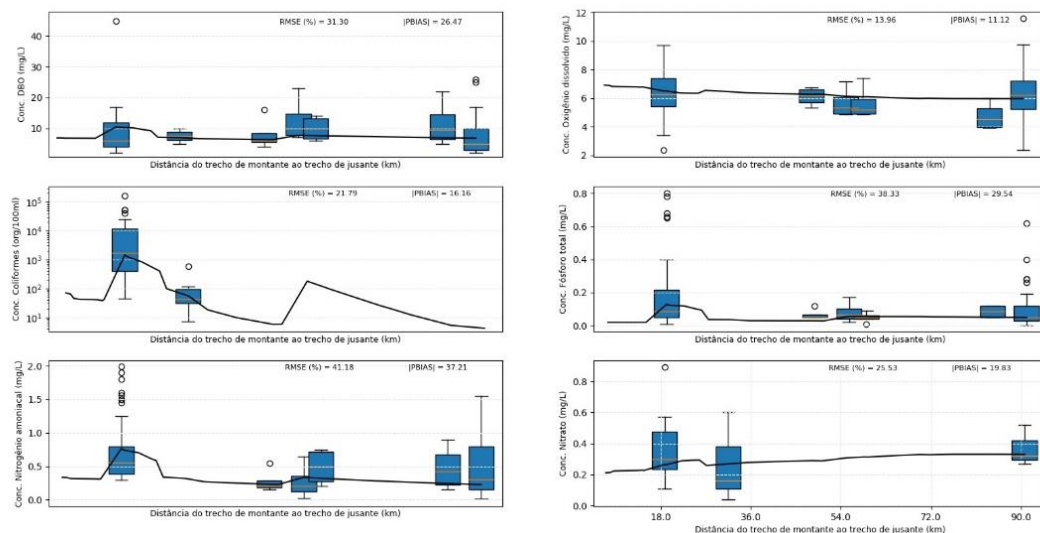


Figura 2.2 - Perfil longitudinal do resultado da calibração da grande bacia do rio São João.

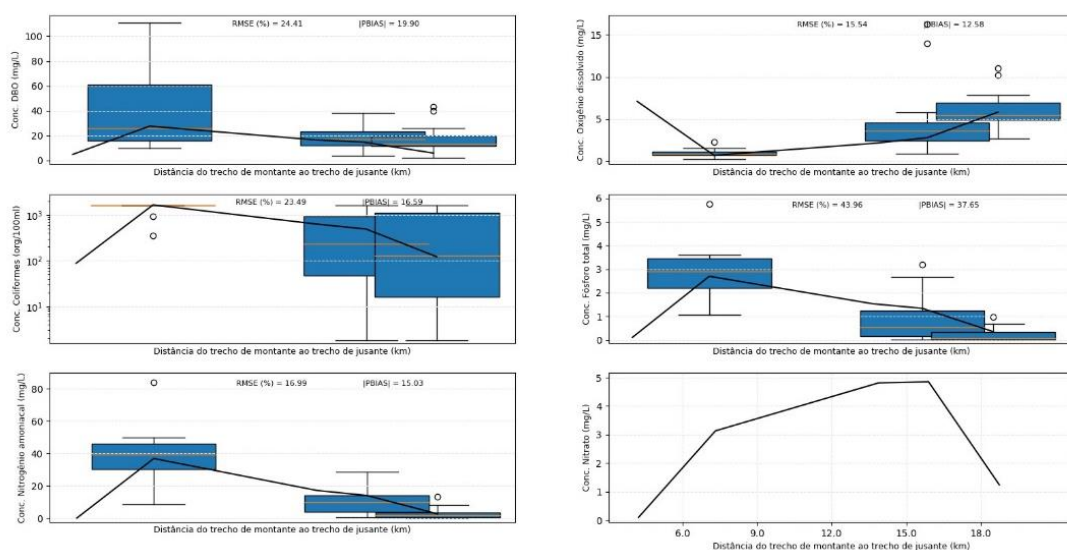


Figura 2.3 - Perfil longitudinal do resultado da calibração da bacia do rio Una.

Vale ressaltar que a calibração foi feita priorizando o melhor valor possível do PBIAS, pois essa métrica é a mais adequada para esse tipo de avaliação segundo Kayser e Collischonn, (2017). Ao observar a Figura 2.2, correspondente a calibração da bacia do rio São João, nota-se que com exceção do Nitrogênio amoniacal, todos os parâmetros simulados se encontram ao menos na faixa aceitável de acordo com a Tabela 2.7. Sendo que a calibração dos parâmetros OD e Coliformes pode ser classificada como boa e a do Nitrato como satisfatória. O motivo provável para que a calibração do Nitrogênio amoniacal não tenha sido tão boa quanto a dos outros parâmetros é devido a grande quantidade de dados atípicos no ponto de monitoramento mais próximo do lançamento, indicando que nesse ponto há uma grande variabilidade temporal da concentração desse parâmetro, o que demanda uma investigação mais aprofundada das causas. No entanto, com os dados observados disponíveis esse foi o melhor valor possível para o PBIAS. Apesar do valor do PBIAS não poder ser classificado em uma faixa melhor para esse parâmetro, pela figura é possível visualizar que os valores simulados se adequaram bem aos valores médios dentro da faixa de variação dos valores observados.

Já para a bacia do rio Una (Figura 2.3), é importante ressaltar que haviam menos dados de monitoramento, pois o corpo hídrico onde o efluente da ETE Jardim Esperança é lançado é de pequeno porte, desta forma, foram usados dados de um relatório de qualidade fornecido pela Prolagos do corpo hídrico receptor. No entanto esses dados possuem uma frequência mensal

com duração de 1 ano. Outro ponto importante é que não haviam dados para o parâmetro Nitrito, sendo assim, esse não foi calibrado.

Com exceção do parâmetro Fósforo total, todos os parâmetros para a bacia do Rio Uma foram classificados como Bom ou Satisfatório, sendo assim, pode-se afirmar que a calibração nessa bacia foi conduzida com sucesso.

2.6 Resultados da simulação qualitativa para os rios da RH-VI

Com os parâmetros calibrados, conduziu-se as simulações dos dois cenários (Q95 e máxima outorgável, com remoção de 40% da Q95). Nesse tópico serão apresentados os resultados por parâmetro analisado.

2.6.1 DBO

Na Figura 2.4 e na Figura 2.5 são apresentados os resultados para o parâmetro DBO em ambos os cenários.

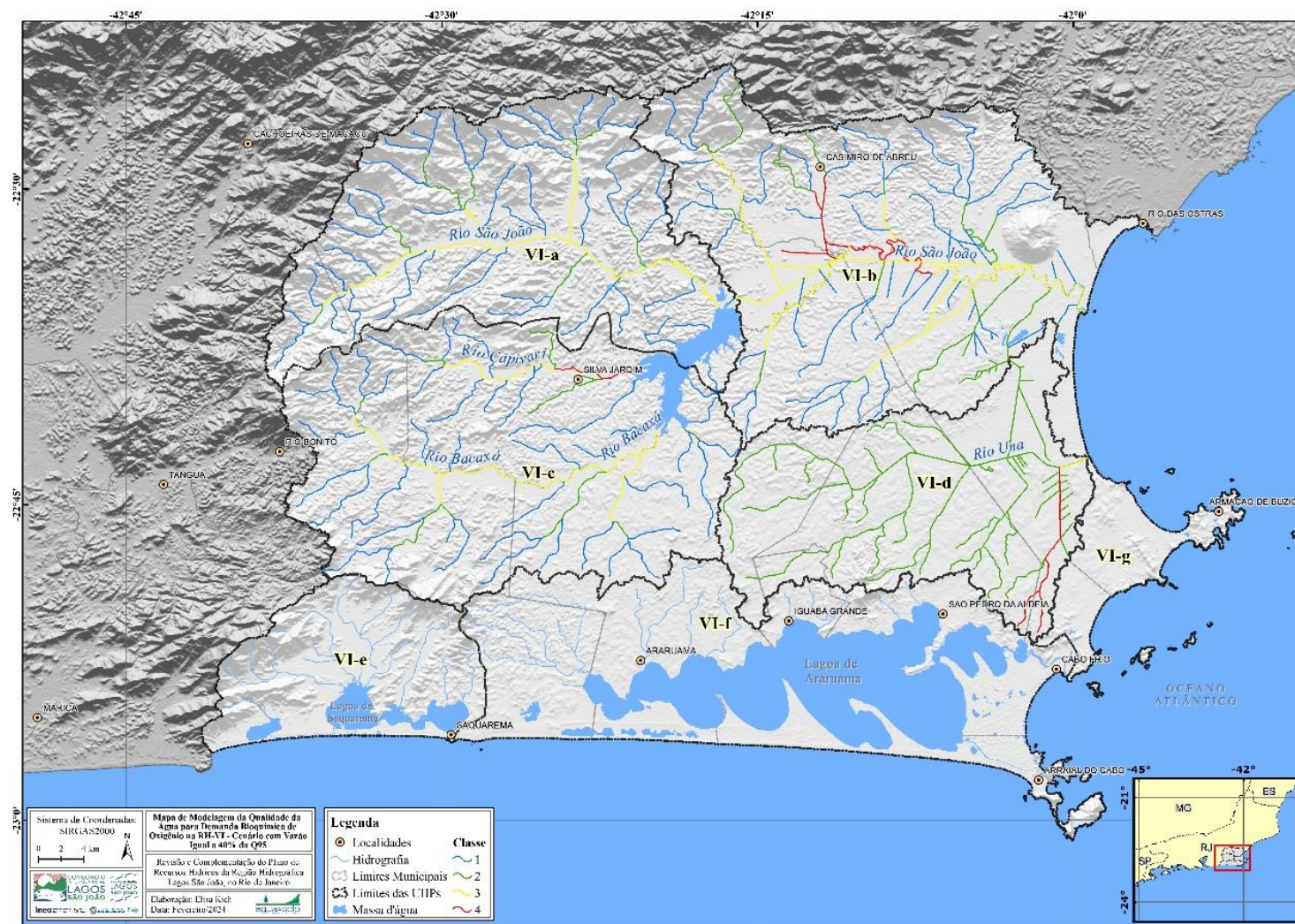


Figura 2.5 - Resultado do parâmetro DBO para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.

Ao analisar esses resultados percebemos que em boa parte do curso principal do rio São João, esse seria enquadrado como classe 3, sendo que nos locais próximos ao lançamento da ETE Casimiro de Abreu essa qualidade cai para classe 4 no cenário da máxima outorgável, o que não ocorre no cenário da Q95, demonstrando que com a vazão Q95 o rio principal já tem capacidade de suporte para receber as cargas lançadas pela ETE no rio afluente. É importante ressaltar que essa qualidade no rio principal provém do processo de calibração do modelo, onde a qualidade inicial do rio principal foi definida como 7 mg/L com base nos dados observados. O mesmo vale para os rios Capivari e Bacaxá onde a qualidade cai para a classe 4 próximo ao lançamento da ETE Silva Jardim.

Já para a bacia do rio Una, percebemos que boa parte da bacia seria enquadrada como classe 2 (isso também provém do processo de calibração), no entanto, em todo o córrego da Malhada (corpo receptor da ETE Jardim Boa Esperança) a qualidade da água cai para a classe 4, reduzindo para 3 após desaguar no corpo principal do rio Una. Isso se repete nos dois cenários simulados. Sendo assim é importante frisar que essas regiões próximas aos lançamentos e os corpos principais dos Rios São João, Capivari, Bacaxá e Rio Una demandam uma atenção especial.

2.6.2 OD

Na Figura 2.6 e na Figura 2.7 são apresentados os resultados para o parâmetro OD em ambos os cenários.

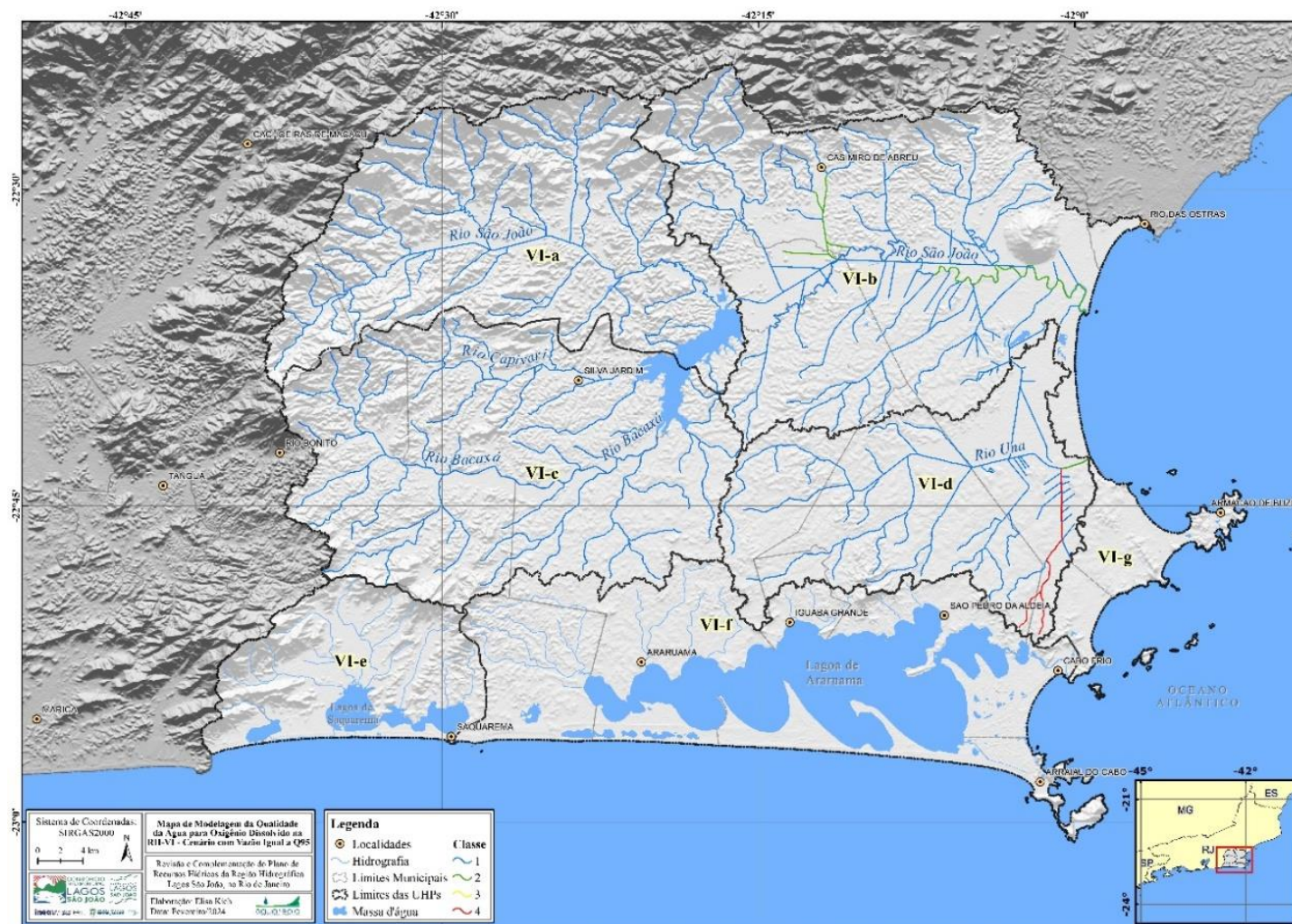


Figura 2.6 - Resultado do parâmetro OD para os rios da RH-VI no cenário Q95.

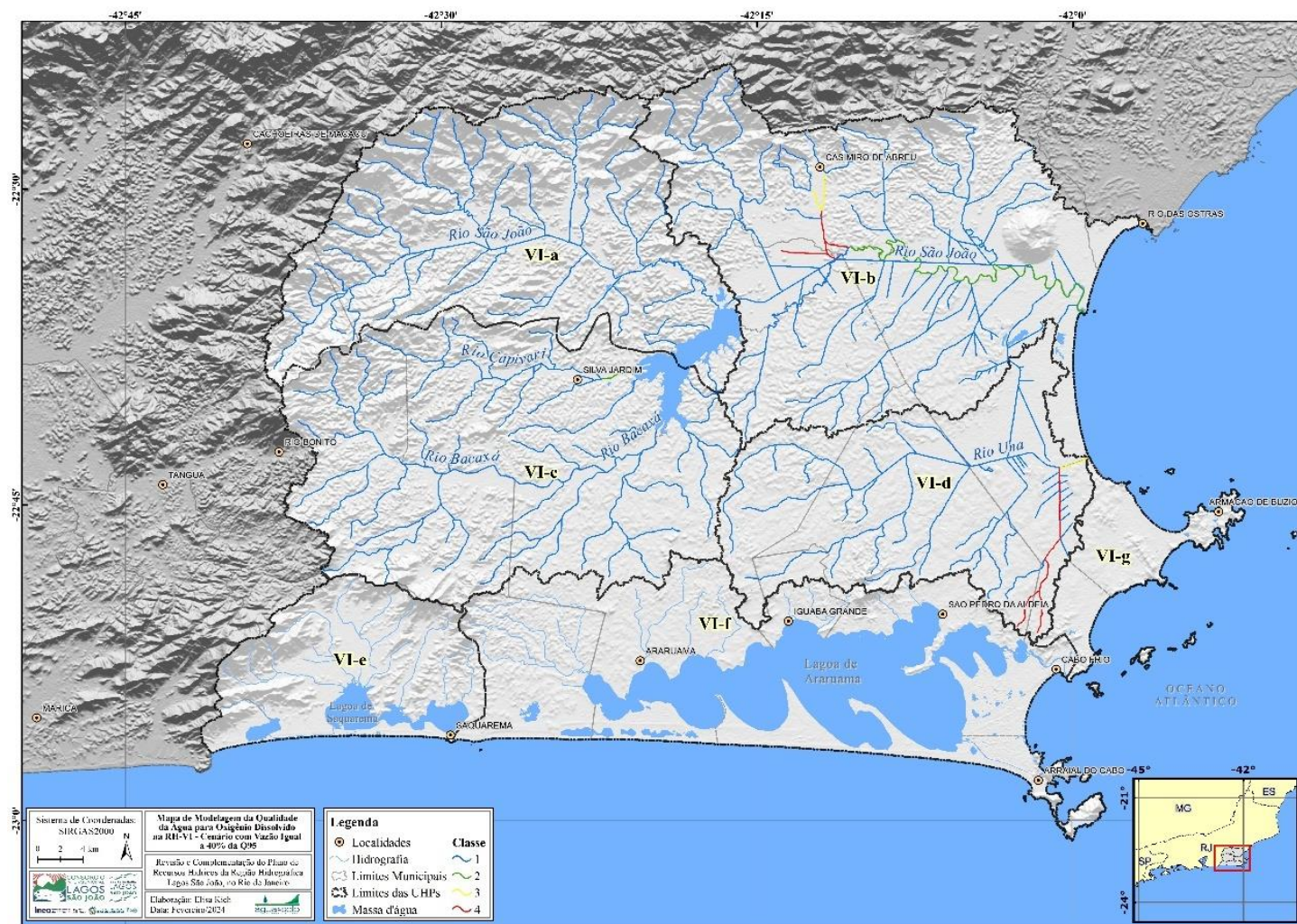


Figura 2.7 - Resultado do parâmetro OD para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.

Com relação ao OD, que é um dos parâmetros mais importantes ao avaliar a qualidade de um corpo hídrico, pois é o responsável por manter grande parte a fauna aquática viva, em geral os níveis são bons para todas as bacias. A principal exceção é o córrego da Malhada, ponto de lançamento da ETE Jardim Esperança, nesse corpo hídrico a concentração de OD configura o mesmo na classe 4, e acende um alerta para possível subdesenvolvimento ou mortandade da fauna aquática no local.

Nos demais locais no cenário Q95 não vemos maiores problemas, após o lançamento da ETE Casimiro de Abreu o rio muda de classe para 2, mas ao atingir o corpo principal volta para classe 1, voltando para classe 2 somente no trecho final, devido ao alto consumo de oxigênio pela depuração da DBO. Já no cenário de máxima outorgável, vemos que outro ponto de interesse surge, pois com a vazão reduzida o ponto logo após o lançamento em Casimiro de Abreu cai para a classe 4, demandando então uma maior atenção nesse trecho.

2.6.3 *Coliformes totais*

Na Figura 2.8 e na Figura 2.9 são apresentados os resultados para o parâmetro coliformes totais em ambos os cenários.

Os coliformes fecais são frequentemente usados como indicadores de contaminação fecal em água e alimentos. A presença dessas bactérias em água potável, por exemplo, pode indicar que a água foi contaminada por esgoto ou outras fontes de material fecal, o que representa um risco à saúde humana. Portanto, a detecção e a monitorização de coliformes fecais são importantes em testes de qualidade da água, especialmente em sistemas de abastecimento público, para garantir a segurança do consumo humano e prevenir doenças transmitidas pela água contaminada.

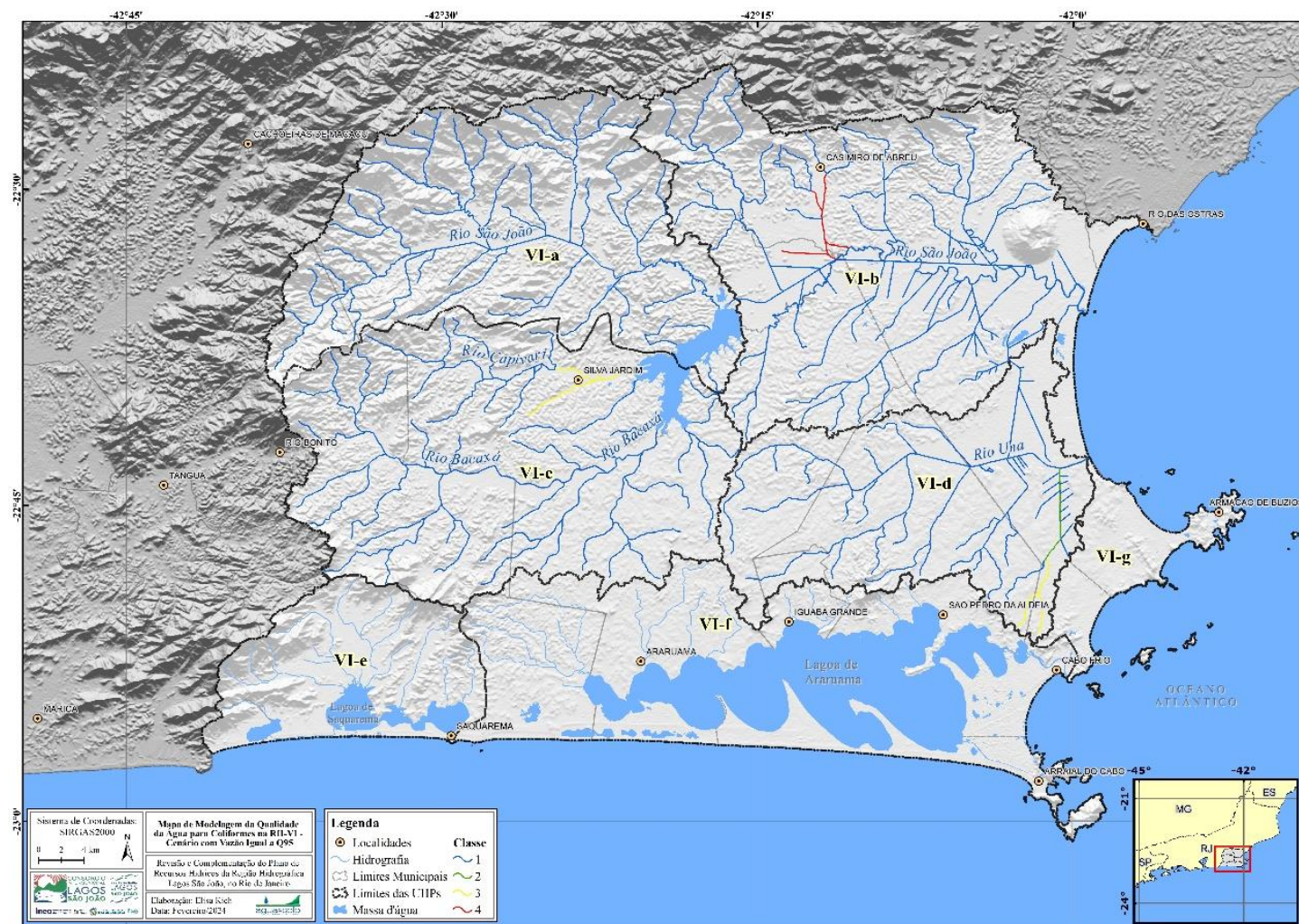


Figura 2.8 - Resultado do parâmetro coliformes para os rios da RH-VI no cenário Q95.

Analisando a Figura 2.8 que corresponde ao resultado para o cenário de vazão Q95, vemos que o principal problema relacionado a concentração de coliformes ocorre no trecho após o lançamento da ETE Casimiro de Abreu ao qual a classe de qualidade corresponde a classe 4. Nos demais pontos de lançamento, o trecho logo a jusante do ponto de lançamento é classificado como classe 3, o que ainda demanda certa atenção. Já para o cenário de máxima outorgável o problema com os coliformes é mais acentuado, pois no trecho logo após o lançamento em todos os pontos a classe do rio cai de classe 1 para classe 4. No entanto, vale ressaltar que apesar de impactar a qualidade do rio em um trecho, a qualidade retorna para classe 1 antes de chegar a foz do rio em ambos os cenários, demonstrando que os rios da bacia possuem uma boa capacidade de depuração de microrganismos.

2.6.4 Fósforo Total (FT)

Na Figura 2.10 e na Figura 2.11 são apresentados os resultados para o parâmetro fósforo total em ambos os cenários.

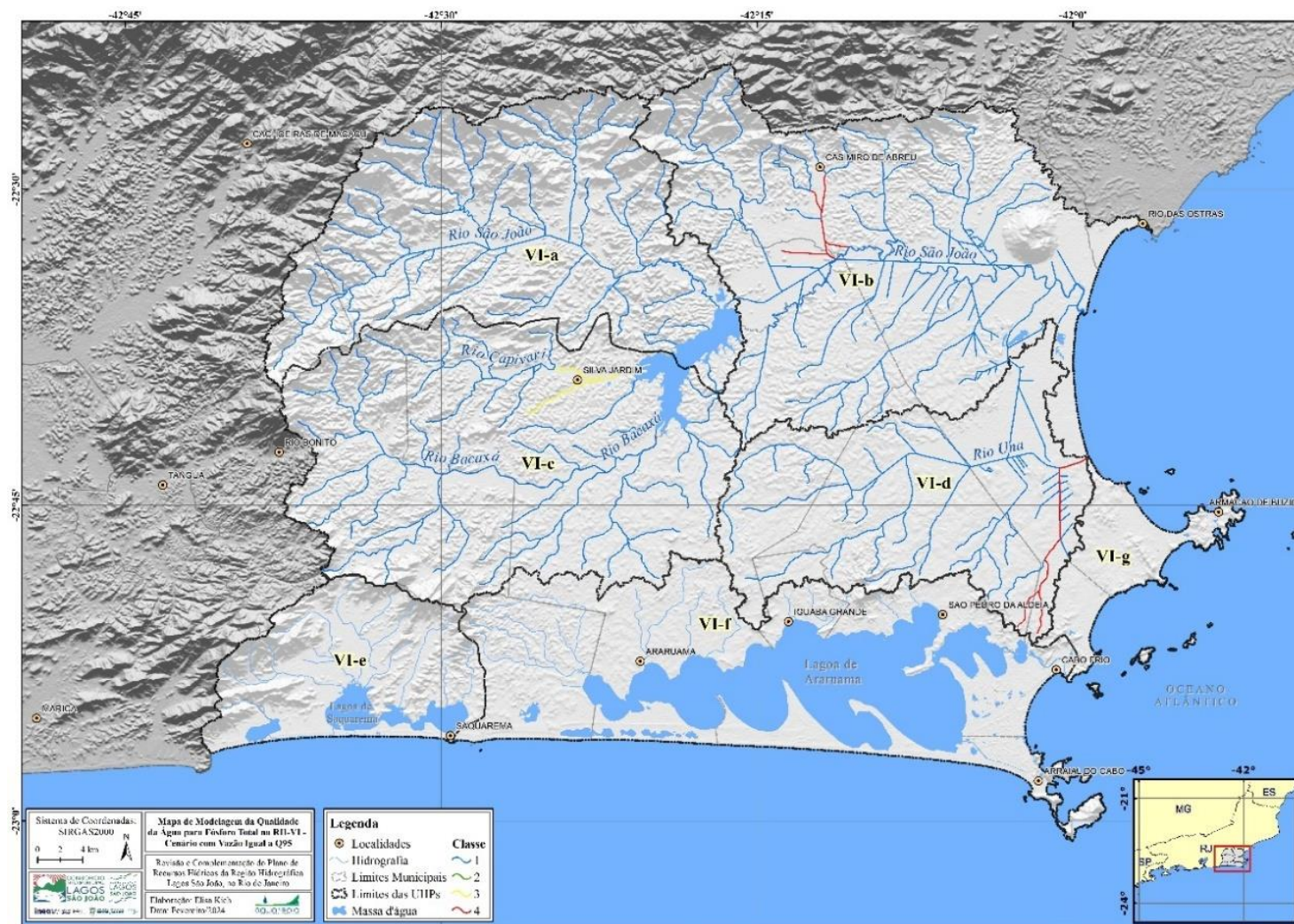


Figura 2.10 - Resultado do parâmetro FT para os rios da RH-VI no cenário Q95.

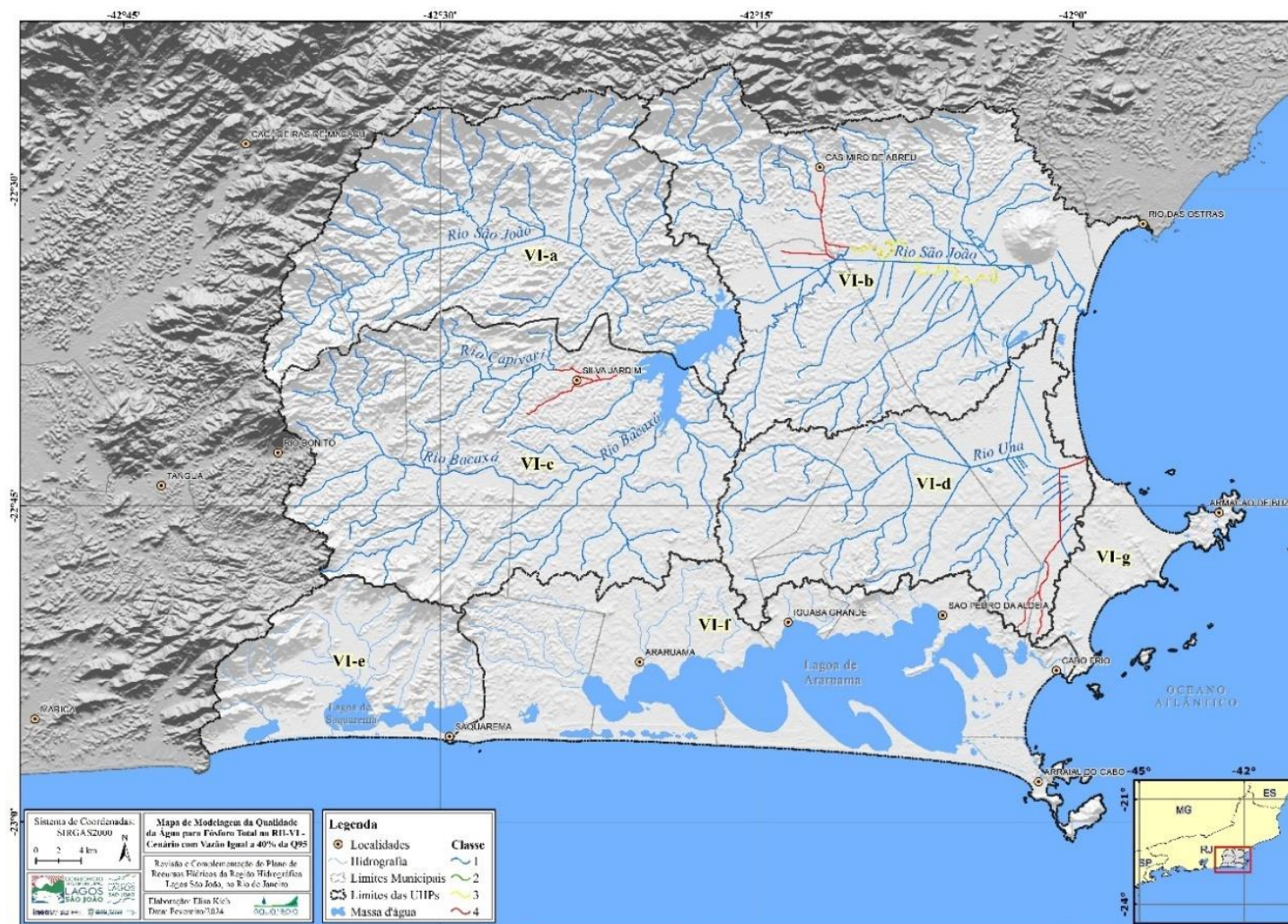


Figura 2.11 - Resultado do parâmetro FT para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.

Para o parâmetro FT, grande responsável por problemas com eutrofização de mananciais, com exceção dos pontos de lançamento vemos uma qualidade geral boa na bacia. Novamente o córrego da Malhada apresentou uma qualidade muito ruim (classe 4) para esse parâmetro em ambos os cenários, piorando inclusive a qualidade do Rio Una ao desaguar no mesmo. Já nos trechos logo após o ponto de lançamento em Casimiro de Abreu (classe 4) e em Silva Jardim (Classe 3) para o cenário Q95, vemos que o rio rapidamente se recupera ao atingir o corpo principal, mostrando bom potencial de suporte para as cargas desses parâmetros. Já para o cenário de máxima outorgável, vemos que o rio São João demora bem mais para se recuperar do lançamento de Casimiro de Abreu e o ponto de lançamento em Silva Jardim cai para classe 4.

2.6.5 Nitrogênio Amoniacal (NA)

Na Figura 2.12 e na Figura 2.13 são apresentados os resultados para o parâmetro Nitrogênio amoniacal em ambos os cenários.

O NA, assim como o FT é responsável por problemas relacionados a eutrofização de mananciais que podem ocasionar outros problemas associados, como a diminuição do OD devido à grande incidência de macrófitas nos corpos hídricos. Sendo assim, também é um parâmetro que demanda atenção. Ao analisar os resultados, vemos que para ambos os cenários o problema é novamente o córrego da Malhada, classificado como classe 4. Nos demais locais da bacia temos um ponto de atenção apenas no cenário de máxima outorgável, onde a vazão mais baixa faz com que o trecho após o lançamento da ETE Casimiro de Abreu caia para a classe 3, no entanto ao atingir o curso principal do rio São João essa carga é prontamente dissolvida, retornando para classe 1.

2.6.6 Nitrito (NN)

Na Figura 2.14 e na Figura 2.15 são apresentados os resultados para o parâmetro Nitrito em ambos os cenários.

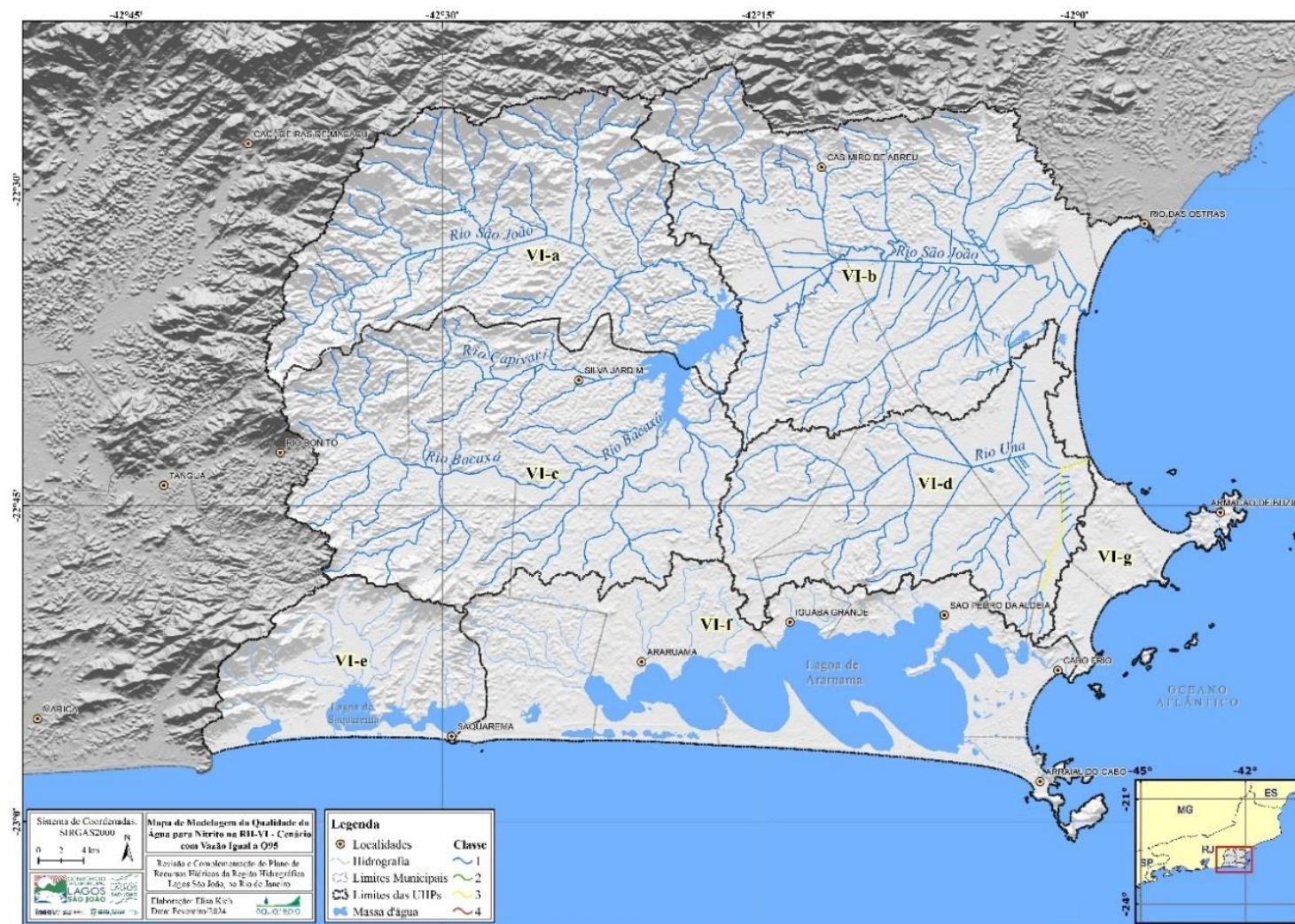


Figura 2.14 - Resultado do parâmetro NN para os rios da RH-VI no cenário Q95.

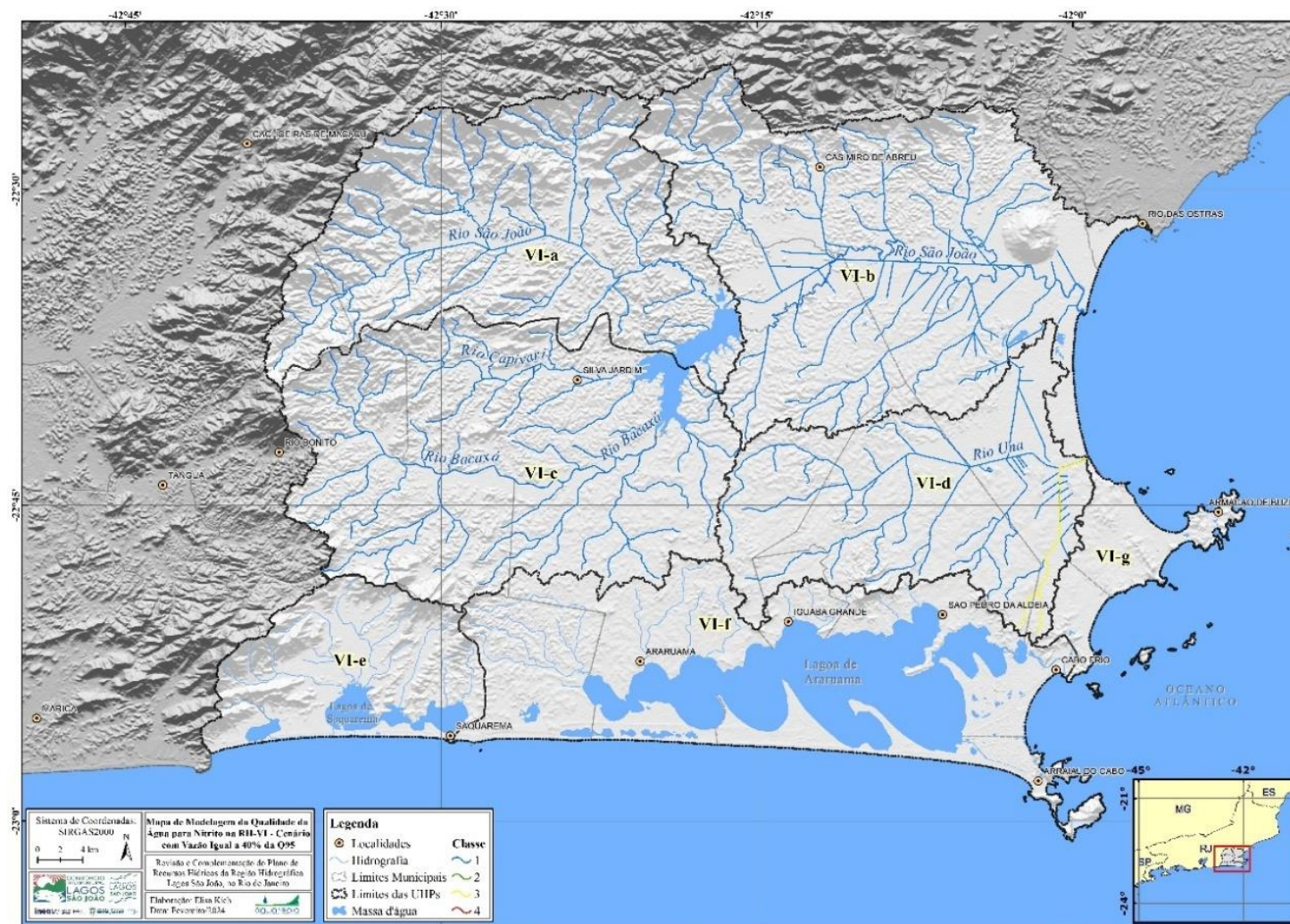


Figura 2.15 - Resultado do parâmetro NN para os rios da RH-VI no cenário máxima outorgável.

O nitrato é uma substância de interesse particular na qualidade da água devido aos seus efeitos nocivos sobre a vida aquática e sua relação com o ciclo do nitrogênio. O nitrato é tóxico para a maioria dos organismos aquáticos, especialmente para peixes. Ele interfere no transporte de oxigênio no sangue, levando à asfixia dos organismos. Ao analisarmos os resultados, percebemos que para o parâmetro Nitrato, o único ponto de atenção é o córrego da Malhada, onde esse local foi classificado como classe 3. No entanto, vale ressaltar que devido a falta de dados sobre as concentrações desse parâmetro no local, o mesmo não foi calibrado, esse é então um valor estimado através de equações matemáticas.

3 CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade dos corpos hídricos em uma bacia é fundamental para garantir a saúde dos ecossistemas aquáticos e a segurança hídrica para uso humano. No caso específico da RH-VI, foram analisados dois cenários diferentes: um cenário de vazão Q95 e outro de vazão máxima outorgável (40% da Q95).

O parâmetro que mais chamou atenção foi a DBO, que apresentou valores um pouco elevados em toda a bacia, sendo ainda mais preocupante no cenário de vazão máxima outorgável. A DBO é um indicador da quantidade de matéria orgânica presente na água e sua decomposição consome oxigênio, podendo levar à diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido e afetar a vida aquática. Essa diminuição nos níveis de OD devido a alta carga de DBO pode ser observada na Figura 2.4 e na Figura 2.5.

Além da DBO, os demais parâmetros não mostraram resultados muito alarmantes, exceto nos trechos próximos aos pontos de lançamento de efluentes, onde a qualidade da água decai rapidamente. Com especial atenção ao córrego da Malhada, onde a qualidade das águas do rio foi classificada como classe 4 para a maioria dos parâmetros. Essa classificação indica uma qualidade ruim da água (a pior dentro da CONAMA 357/2005), isso diminui os usos possíveis para esse corpo hídrico e pode causar possíveis impactos negativos na vida aquática e na saúde humana no local.

De forma geral, o parâmetro que menos demanda atenção, de acordo com os resultados da simulação é o Nitrito, o qual apresentou concentrações mais elevadas apenas no trecho após o ponto de lançamento da ETE Jardim Esperança. Esses resultados destacam os pontos onde existe a necessidade de medidas de controle e gestão ambiental mais rigorosas, especialmente no tratamento de efluentes domésticos, para reduzir a carga de poluentes lançados nos corpos hídricos. Desta forma, pode-se evitar problemas futuros e manter a qualidade da água em níveis aceitáveis para múltiplos usos.

REFERÊNCIAS

HGE – Hidrologia em Grande Escala. **WARM-GIS Tools**. 2017. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/lsh/products/warm-gis-tools>>.

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. “Integrando Sistema de Suporte à Decisão para Gerenciamento de Recursos Hídricos a um SIG de Código Aberto” in Anais do XX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. 2013.

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. **Manual Teórico Prático da ferramenta WARM-GIS Tools**. 2017.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. UFMG. 2007.

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