

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**  
Secretaria Estadual do Ambiente - SEA  
Instituto Estadual do Ambiente - INEA



**GOVERNO DO  
Rio de Janeiro**

**inea** instituto estadual  
do ambiente



CONTRATO Nº 56/2011 - INEA

**ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS  
HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA  
MACAÉ E DAS OSTRAS**

**RELATÓRIO DO BALANÇO HÍDRICO  
DA REGIÃO HIDROGRÁFICA  
MACAÉ E DAS OSTRAS  
RD-06**

**VERSÃO FINAL REVISADA**

Consórcio MACAÉ/OSTRAS:

Outubro/2013





**inea** instituto estadual  
do ambiente



**GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Secretaria Estadual do Ambiente - SEA  
Instituto Estadual do Ambiente - INEA**

**Petróleo Brasileiro S.A.**

**Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e  
das Ostras**

Contrato Nº 56/2011 - INEA

## **ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ/OSTRAS**

**PRH-MACAÉ/OSTRAS**

### **RELATÓRIO DO BALANÇO HÍDRICO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS (RD-06)**

**VERSÃO FINAL REVISADA**

Consórcio MACAÉ/OSTRAS:



(OUTUBRO/2013)

### QUADRO DE CODIFICAÇÃO DO DOCUMENTO

Código:	EG0143-R-PRH-RD-06-03			
Título do Documento:	RELATÓRIO DO BALANÇO HÍDRICO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS (RD-06)			
Aprovador:	Antônio Eduardo Leão Lanna			
Data da Aprovação:	03/10/2012			
Controle de Revisões				
Nº da Revisão	Natureza/Justificativa	Aprovação		
		Data	Responsável	Rubrica
01	Parecer INEA	03/10/2012	A. Eduardo Lanna	
02	Adequação	30/11/2012	A. Eduardo Lanna	
03	Complementação	25/06/2013	A. Eduardo Lanna	
04	Novas complementações	25/10/2013	A. Eduardo Lanna	

## ÍNDICE

**ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA  
REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ/OSTRAS  
PRH-MACAÉ/OSTRAS**

**RELATÓRIO DO BALANÇO HÍDRICO  
DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS (RD-06)  
VERSÃO FINAL REVISADA**

**ÍNDICE**

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1	Identificação do Contrato de Prestação de Serviços.....	2
1.2	Objetivos e Escopo dos Estudos e Planejamentos.....	2
1.3	Conteúdo do Relatório de Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-06).....	4
2	METODOLOGIA PARA O BALANÇO HÍDRICO.....	5
3	BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO.....	9
3.1	Avaliação da Disponibilidade Hídrica.....	10
3.2	Demandas e Consumos de Água.....	15
3.2.1	Demandas Pontuais: Abastecimento Urbano.....	15
3.2.2	Demandas Pontuais: Indústria.....	17
3.2.3	Demandas e Consumos Distribuídos: Abastecimento Rural, Irrigação e Uso Animal.....	18
3.3	Balanço Hídrico para a cena atual (2012).....	21
3.4	Análises e Considerações.....	27
4	BALANÇO HÍDRICO QUALITATIVO.....	28
4.1	Estimativa das Cargas de Poluentes Geradas na Bacia.....	29
4.1.1	Fontes Pontuais: Esgoto Doméstico do Meio Urbano.....	30
4.1.2	Fontes Difusas: Criação Animal.....	34
4.1.3	Fontes Difusas: Cargas da Atividade Agrícola.....	35
4.2	Calibração do Modelo.....	37
4.2.1	Campanhas de Monitoramento.....	37
4.2.2	Estimativa dos Parâmetros do Modelo.....	38
4.3	Resultados da Calibração em Condições de Estiagem.....	41
4.4	Resultados da Calibração em Condições de Vazões Medianas.....	45
4.5	Aplicação: Resultados das Simulações de Qualidade de Água na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras.....	48
4.5.1	Cena Atual (2012) em Condição de Estiagem.....	48
4.5.2	Cena Atual (2012) em Condição de Vazões Médias.....	54
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	ANEXOS: CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE SUPORTE À DECISÃO.....	59

## RELAÇÃO DE QUADROS E FIGURAS

## RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 3.1: Vazões de Referência em cada Sub-bacia da RH VIII .....	14
Quadro 3.2: Vazões de Referência nas Sub-bacias sob Influência da Transposição de Bacia do Rio Macabu .....	14
Quadro 3.3: Alocação dos Valores de Demandas e Consumos do Abastecimento Público .....	15
Quadro 3.4: Compatibilização entre as Demandas Estimadas e os Locais de Captação da RH-VIII .....	16
Quadro 3.5: Compatibilização entre os Dados Estimados e Fornecidos pelo CNARH, com Relação à Indústria.....	18
Quadro 3.6: Demandas e Consumos com Relação ao Uso da Irrigação.....	18
Quadro 3.7: Demandas e Consumos com Relação ao Uso do Abastecimento Rural.....	19
Quadro 3.8: Demandas e Consumos com Relação ao Uso Animal .....	19
Quadro 3.9: Comprometimento da Disponibilidade Hídrica, Considerando o Consumo Hídrico(2012) .....	22
Quadro 4.1: Situação dos Distritos com Relação à Existência de Estações de Tratamento de Efluentes .....	30
Quadro 4.2: Compatibilização entre os Valores Estimados de Demanda e os Retornos em cada Ponto de Lançamento.....	32
Quadro 4.3: Tipo de Esgotamento Sanitário nos Municípios da RH VIII .....	33
Quadro 4.4: Fatores de Redução de Carga Orgânica .....	33
Quadro 4.5: Valores das Cargas Presentes no Esgoto Doméstico dos Parâmetros a serem Simulados no Modelo .....	33
Quadro 4.6: Cargas Poluentes Lançadas pelos Esgotos Domésticos Urbanos .....	33
Quadro 4.7: Cargas Unitárias Adotadas para os Rebanhos da RH VIII .....	34
Quadro 4.8: Efetivo Animal Estimado para o Ano de 2012 na RH VIII .....	34
Quadro 4.9: Carga Total Potencial e Remanescente de Origem Animal na RH VIII (Cenário de Vazões Médias).....	35
Quadro 4.10: Cargas Poluentes da Criação de Animais na RH VIII em 2012 .....	35
Quadro 4.11: Área Agrícola e de Pastagem em Várzea da RH VIII .....	35
Quadro 4.12: Carga Unitária Adotada para as Atividades Agrícolas. ....	36
Quadro 4.13: Valores das Cargas de N e P Utilizados nas Classes de Agricultura .....	36
Quadro 4.14 – Cargas Poluentes da Criação de Animais na RH VIII em 2012 .....	36
Quadro 4.15: Descrição das Faixas de Valores Admissíveis por Classe de Enquadramento dos Principais Parâmetros de Qualidade .....	48

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 2.1: Forma de Integração entre SIG, SSD e Modelos Hidrológicos no Modelo SAD-IPH .....	7
Figura 2.2: Esquema Ilustrando as Variáveis Envolvidas no Modelo Quantitativo do Sistema.....	8
Figura 3.1: Disponibilidade Hídrica da RH – Critério de Vazão: $Q_{90}$ .....	11
Figura 3.2: Disponibilidade Hídrica da RH – Critério de Vazão: $Q_{95}$ .....	12
Figura 3.3: Disponibilidade Hídrica da Bacia, Considerando o Critério da $Q_{7,10}$ .....	13
Figura 3.4: Localização dos Pontos de Captação para Abastecimento Urbano na RH VIII .....	16
Figura 3.5: Localização dos Pontos de Captação para Uso Industrial na RH VIII .....	17
Figura 3.6: Consumo da Irrigação, Abastecimento Rural e Uso Animal, Distribuído em Cada Distrito da Região Hidrográfica .....	20
Figura 3.7: Consumo da Irrigação, Abastecimento Rural e Uso Animal, Distribuído em Cada Unidade de Discretização do Modelo de Balanço Hídrico .....	21
Figura 3.8: Localização dos Pontos de Controle do Balanço Hídrico Apresentados no Quadro 3.9.....	23
Figura 3.9: Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual – 2012 ( $Q_{90}$ ) .....	24
Figura 3.10: Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual – 2012 ( $Q_{95}$ ) .....	25
Figura 3.11: Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual – 2012 ( $Q_{7,10}$ ) .....	26
Figura 4.1: Localização dos pontos de lançamento dos efluentes do esgoto doméstico.....	31
Figura 4.2: Localização dos Postos de Monitoramento de Qualidade da Água na RH VIII .....	37
Figura 4.3: Vazões Medidas e Características de Estiagem nas Seções de Monitoramento do Rio Macaé.....	38
Figura 4.4: Estimativa do Decaimento e Sedimentação da Matéria Orgânica em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem .....	39
Figura 4.5: Estimativa do Coeficiente de Reaeração em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem .....	40
Figura 4.6: Estimativa da Taxa de Coliformes em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem .....	41
Figura 4.7: Perfil Longitudinal de Concentrações de DBO no Rio Macaé, Cena 2012, e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2).....	42
Figura 4.8: Perfil Longitudinal de Concentrações de Oxigênio Dissolvido no Rio Macaé, Cena 2012,e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2) .....	42
Figura 4.9: Perfil Longitudinal de Concentrações de Fósforo Total no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2) .....	43
Figura 4.10: Perfil Longitudinal de Concentrações de Coliformes Termotolerantes no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2) .....	43



Figura 4.11: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrato no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2).....	44
Figura 4.12: Perfil Longitudinal de Concentrações de Amônia no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2).....	44
Figura 4.13: Perfil Longitudinal de Concentrações de DBO ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q50% de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento.....	45
Figura 4.14: Perfil Longitudinal de Concentrações de OD ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q <sub>50%</sub> de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento.....	46
Figura 4.15: Perfil Longitudinal de Concentrações de Fósforo Total ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q <sub>50%</sub> de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento.....	46
Figura 4.16: Perfil Longitudinal de Concentrações de Coliformes Termotolerantes ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q <sub>50%</sub> de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento .....	47
Figura 4.17: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrato ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q <sub>50%</sub> de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento.....	47
Figura 4.18: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrito ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q <sub>50%</sub> de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento.....	48
Figura 4.19: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Estiagem (Q <sub>90</sub> ) – Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido .....	50
Figura 4.20: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Estiagem (Q <sub>90</sub> ) – Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes .....	51
Figura 4.21: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Estiagem (Q <sub>7,10</sub> ) – Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido .....	52
Figura 4.22: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Estiagem (Q <sub>7,10</sub> ) – Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes .....	53
Figura 4.23: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Vazões Médias (Q <sub>50</sub> ) – Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido .....	55
Figura 4.24: Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Vazões Médias (Q <sub>50</sub> ) – Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes.....	56

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

# 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este documento constitui-se na versão final revisada do Relatório do Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras, a qual incorporou as sugestões/correções solicitadas pelo GTA e Fiscalização do INEA, bem como a revisão dos estudos hidrológicos, em função de novos dados de vazão disponibilizados em outubro de 2013. O relatório é parte integrante dos serviços de Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras - PRH-MACAÉ/OSTRAS.

Apresentam-se, a seguir, as considerações a respeito do Contrato que orienta a execução do trabalho, do escopo e dos objetivos a serem alcançados, bem como sobre o conteúdo deste relatório.

## 1.1 Identificação do Contrato de Prestação de Serviços

O presente “Relatório de Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-06)” decorre do Contrato nº. 56/2011, firmado entre o Instituto Estadual do Ambiente - INEA, e o Consórcio Macaé/Ostras, com a interveniência da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), com o objetivo da contratação de serviços especializados para a “Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras - PRH-Macaé/Ostras”.

Os principais dados e informações que permitem caracterizar o referido contrato de prestação de serviços de consultoria são os seguintes:

- Modalidade/Identificação da Licitação: Edital da Tomada de Preço nº. 03/2011-INEA;
- Processo Administrativo Nº: E-07/506.863/2010;
- Data da Licitação: 07 de julho de 2011;
- Identificação do Contrato Nº. 56/2011-INEA;
- Data da Assinatura do Contrato: 30 de novembro de 2011;
- Prazo de Execução do Trabalho: 18 meses;
- Data da Ordem de Serviço: 15 de dezembro de 2011;
- Termo Aditivo INEA nº 30/2013: prorrogação 6 (seis) meses;
- Data Prevista de Encerramento do Novo Prazo Contratual: 09 de dezembro de 2013;
- Valor do Contrato: R\$ 1.399.963,47;
- Origem dos Recursos: Convênio INEA e Petróleo Brasileiro S.A.

Com base nas cláusulas e condições do referido Contrato, do Edital da Tomada de Preço nº 03/2011-INEA, dos Termos de Referência, bem como das propostas Técnica e de Preços da Contratada, desenvolvem-se os estudos e atividades que visam à elaboração do PRH-Macaé/Ostras, cujos resultados estarão expressos no conjunto dos relatórios técnicos e demais produtos estabelecidos.

## 1.2 Objetivos e Escopo dos Estudos e Planejamentos

O Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (PRH-Macaé/Ostras) visa ao levantamento de informações e o posterior delineamento das intervenções relacionadas com a gestão ambiental da bacia de modo a promover a recuperação, conservação e o planejamento de uso dos recursos hídricos.

O Plano deverá avaliar a disponibilidade hídrica, o nível de qualidade de água na bacia, analisar as condições naturais para o equilíbrio do ecossistema e atendimento da necessidade de crescimento dos municípios, de manutenção da qualidade de vida das populações locais e da beleza paisagística da região, visando ao aprimoramento da gestão dos recursos hídricos da Região Hidrográfica e da implementação de seus instrumentos. Deverá ainda, fornecer subsídios ao Comitê que permitam definir as prioridades para as aplicações dos recursos financeiros em iniciativas para a manutenção e recuperação ambiental na região hidrográfica.

Pretende-se assim, com esse estudo, obter-se um diagnóstico da situação atual, um plano de recursos hídricos e o delineamento das intervenções necessárias para assegurar água em quantidade e qualidade necessária a seus usos múltiplos, especialmente, as relacionadas aos instrumentos de gestão de recursos hídricos e a restauração ambiental.

As atividades a serem desenvolvidas, necessárias para alcançar esses objetivos, estão reunidas em nove etapas, que compreendem as fases de diagnóstico, cenarização e elaboração do plano, as quais serão desenvolvidas de forma sucessiva, e as atividades de mobilização social, elaboração do Sistema de Informações Geográficas e apoio ao Comitê, que se desenvolverão ao longo de todo o contrato.

- Etapa 01: Atividades Preliminares e Consolidação do Plano de Trabalho;
- Etapa 02: Diagnóstico da Situação Atual da Região Hidrográfica;
- Etapa 03: Elaboração de Cenários Estratégicos de Planejamento em Recursos Hídricos;
- Etapa 04: Proposição de Programas, Projetos e Estratégias de Ação;
- Etapa 05: Consolidação do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas;
- Etapa 06: Mobilização Social;
- Etapa 07: Construção e Implementação do Sistema de Informações Geográficas - SIG;
- Etapa 08: Apoio Técnico ao CBH Macaé e das Ostras;
- Etapa 09: Produção e Impressão do Material para Divulgação.

Para o desenvolvimento das etapas do trabalho foram detalhadas macroatividades e atividades a serem realizadas, de forma a serem alcançados os objetivos gerais e específicos do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras, nos prazos estipulados e com a qualidade técnica almejada pela Consultora, pelo INEA e pelo CBH Macaé e das Ostras ao promover a elaboração do PRH-Macaé/Ostras.

As principais etapas que configuram o trabalho e seu conteúdo estão descritas abaixo:

- Diagnóstico da situação atual, que contempla a realização de amplo diagnóstico multidisciplinar regional, com ênfase no levantamento e avaliação integrada das restrições e das potencialidades dos recursos hídricos, associadas às demandas pela água para os diversos usos, culminando no balanço hídrico da situação atual das bacias hidrográficas. Envolve a articulação de diferentes áreas do conhecimento relacionadas à disponibilidade, qualidade e usos múltiplos da água, incluindo o conhecimento da dinâmica social e da organização do território;
- Formulação de Cenários Estratégicos de Planejamento, voltados para os usos adequados dos recursos hídricos, envolvendo distintos horizontes de planejamento, que contemplem situações tendenciais, factível e otimista, para embasar o cenário normativo que integrará o plano;
- Proposição de Programas, Projetos e Estratégias de Ação, que consiste na análise e na seleção das alternativas de intervenção e gestão, visando à compatibilização de disponibilidades hídricas quanti-qualitativas frente às demandas, articulando os diversos interesses de usos dos recursos hídricos, internos e externos à bacia. Através da participação social e da aplicação de modelos específicos devem ser identificados as ações que configuram o cenário normativo a ser alcançado; e
- Consolidação do Plano de Recursos Hídricos, fruto de um processo de planejamento participativo, contemplando objetivos, metas e ações, traduzidas em programas e planejamentos a serem periodicamente reavaliados, abrangendo também as recomendações para implementação dos demais instrumentos de gestão das águas previstas na legislação estadual e federal pertinentes e, ainda, os aspectos relativos à organização social e institucional voltados para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Outras etapas complementares, porém não menos importantes, são: a Consolidação do Plano de Trabalho, a Mobilização Social, o SIG, o Apoio ao CBH Macaé e das Ostras, bem como a Produção do Material Técnico e de Divulgação.

### 1.3 Conteúdo do Relatório de Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-06)

O Relatório de Balanço Hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - RD-06 insere-se no escopo dos serviços de elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras (PRH-Macaé/Ostras), cujo objetivo é apresentar a situação atual do uso dos recursos hídricos, resultado do confronto das demandas de água e da sua disponibilidade, de acordo com o que prescreve os Termos de Referência do Edital nº. 03/2011-INEA e a correspondente Proposta Técnica vencedora da Licitação, conforme o seguinte conteúdo:

- **Metodologia para o Balanço Hídrico**, onde se descreve o modelo matemático para simulação utilizado no desenvolvimento dos estudos;
- **Balanço Hídrico Quantitativo**, onde se descrevem os dados de disponibilidade e demanda hídrica utilizados, a partir dos quais se realiza o balanço e verifica-se o comprometimento da disponibilidade hídrica atual;
- **Balanço Hídrico Qualitativo**, onde se apresenta a estimativa das cargas poluidoras na RH VIII, bem como as simulações de qualidade de água na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras realizadas;
- **Referências Bibliográficas**, onde se relacionam as principais fontes de consulta utilizadas;
- **Anexos**, onde estão descritas as características do modelo de suporte à decisão utilizado para o balanço qualitativo

O balanço hídrico da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras subsidiará o processo de avaliação integrada da RH VIII, permitindo identificar possíveis conflitos de uso dos recursos hídricos, fornecendo informações qualificadas para as fases seguintes de cenarização e proposição de ações específicas para a gestão dos recursos hídricos.

## 2 METODOLOGIA PARA O BALANÇO HÍDRICO

## 2 METODOLOGIA PARA O BALANÇO HÍDRICO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia para realização do balanço entre as disponibilidades e demandas hídricas na cena atual (2012) na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - RH VIII. Ele foi realizado usando o sistema de apoio à decisão SAD-IPH (KAYSER, 2011), de forma integrada ao software livre de SIG denominado MapWindow.

- **Sistema de Apoio à Decisão - SAD IPH**

O sistema SAD-IPH foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS e permite o confronto entre as disponibilidades e as demandas hídricas em bacias hidrográficas tanto no aspecto quantitativo como qualitativo (PEREIRA et al.<sup>1</sup>, 2009; KAYSER, 2011<sup>2</sup>). O modelo está descrito sucintamente a seguir. Nos Anexos consta uma descrição mais detalhada, onde são apresentados os algoritmos de funcionamento.

O SAD-IPH é um Sistema de Apoio à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas desenvolvido através de um conjunto de ferramentas programadas na linguagem VB.NET internamente a um software de SIG (MapWindow). O SAD-IPH representa a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica através de trechos individuais conectados em confluências. Cada trecho de drenagem tem um conjunto de atributos que são obtidos automaticamente a partir de operações de SIG, ou calculados em programas especificamente desenvolvidos para tal. Os atributos mais importantes são o comprimento; a declividade; a área de drenagem e a vazão.

A aplicação do SAD-IPH envolve as seguintes etapas:

- segmentação/discretização da bacia;
- definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio;
- definição de parâmetros gerais de simulação;
- introdução de demandas consuntivas e lançamentos de efluentes;
- cálculo das condições de quantidade e qualidade em cada trecho de rio;
- análise e visualização dos resultados.

A vantagem do SAD-IPH em relação a outros sistemas de suporte à decisão reside em poder se conectar diretamente a um banco de dados geoespacial, o que gera flexibilidade para usá-lo em qualquer bacia hidrográfica.

A Figura 2.1 apresenta um esquema geral do funcionamento do sistema, que é constituído basicamente na interação entre os bancos de dados da bacia e dos usuários, e destes com os modelos quantitativo e qualitativo, no qual são feitas operações de leitura, processamento e armazenamento de informações. Externamente ao SAD, existe uma etapa de pré-processamento, necessária para a criação do banco de dados geoespacial da bacia e, opcionalmente, também se pode conectar o sistema a um modelo hidrológico chuva-vazão qualquer.

<sup>1</sup> PEREIRA, M. M. P. ; KAYSER, R. H. B.; FRAGOSO JR., C. R. ; COLLISCHONN, W. . Protótipo de Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas integrado a um SIG: IPH-SISDEC. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande: ABRH, 2009.

<sup>2</sup> KAYSER, R. H. B. 2011 Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: Desenvolvimento e aplicação na bacia do rio dos Sinos. Trabalho de Conclusão. IPH UFRGS.

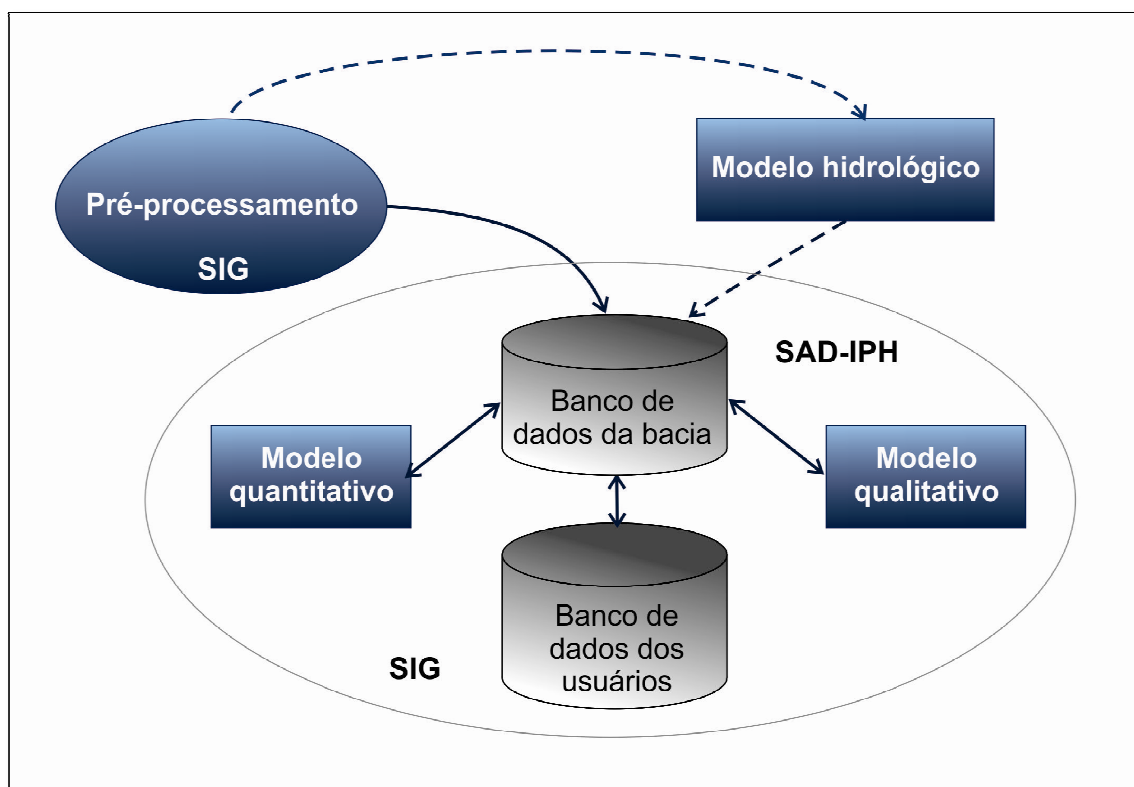


Figura 2.1: Forma de Integração entre SIG, SSD e Modelos Hidrológicos no Modelo SAD-IPH

O banco de dados da bacia representa as feições topológicas da mesma, sendo que o mesmo é obtido através de uma etapa de pré-processamento na qual, a partir de um Modelo Digital de Elevação, é feita a sua segmentação/discretização e então são extraídas as informações para a estruturação do banco de dados. O resultado do pré-processamento é um arquivo vetorial que representa a rede de drenagem da bacia segmentada em trechos de tamanhos variados. Salienta-se que esta etapa de pré-processamento é a mesma utilizada pelo modelo hidrológico MGB, apresentado previamente no “Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-04)”, sendo que o sistema é operado com a mesma discretização obtida anteriormente.

O arquivo vetorial resultante do processo possui uma tabela de atributos em que cada trecho de rio é representado por um código, e cada código carrega consigo o código da confluência de montante e da confluência de jusante. Além destes, novos atributos podem ser adicionados ao banco de dados da bacia, como as informações da vazão por trecho, parâmetros para o modelo de qualidade, etc.

Os modelos quantitativo e qualitativo são operados de maneira semelhante, valendo-se das propriedades dos códigos disponíveis no arquivo da rede de drenagem. Além dos códigos comentados anteriormente, existe ainda um código, gerado pelo SAD, que ordena os trechos de forma crescente, de montante para jusante. Não se trata do código de ordem de Strahler, ou o de Horton, mais conhecidos em hidrologia, mas sim um número que identifica se o trecho de rio é de cabeceira ou se existem outros trechos de rios a montante. A simulação de ambos os modelos ocorre seguindo a ordem estabelecida por este código.

A Figura 2.2 exemplifica o processo de cálculo do modelo quantitativo. Sendo o somatório das demandas dos usuários localizados a montante do trecho simulado, a obtenção de  $D_{i+1}$ , relativo ao somatório das demandas localizadas a jusante do trecho simulado, dar-se-á simplesmente pela soma do termo anterior com a demanda dos usuários localizados no trecho, se houver.



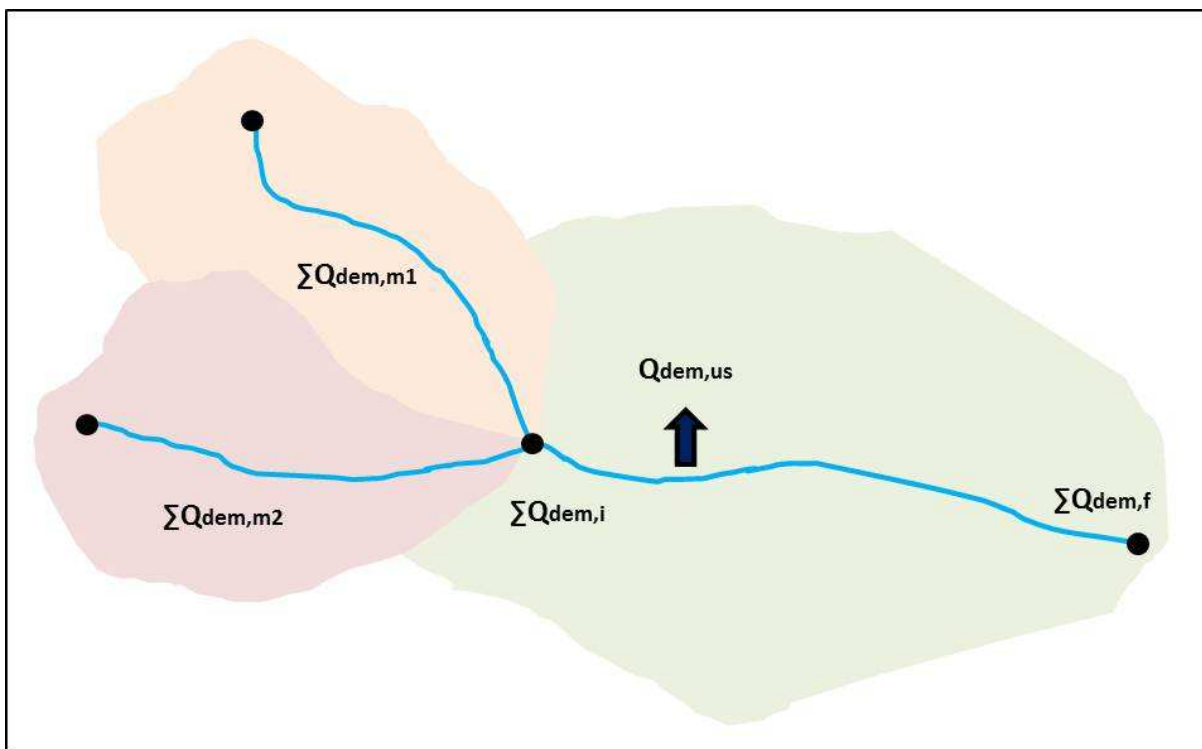


Figura 2.2: Esquema Ilustrando as Variáveis Envolvidas no Modelo Quantitativo do Sistema

A visualização dos resultados da aplicação do SAD, diretamente no próprio SIG, é uma grande vantagem, com a possibilidade de gerar mapas simples e de fáceis compreensões. Acredita-se que este tipo de visualização de resultados possa ser utilizado de forma eficaz, mesmo quando exposto a um público leigo. Outra vantagem de utilizar um sistema de suporte à decisão internamente a um SIG, como o ArcGIS, é que se pode utilizar todos os recursos do próprio programa de SIG para visualizar resultados, gerar mapas e relatórios.

## 3 BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

### 3 BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

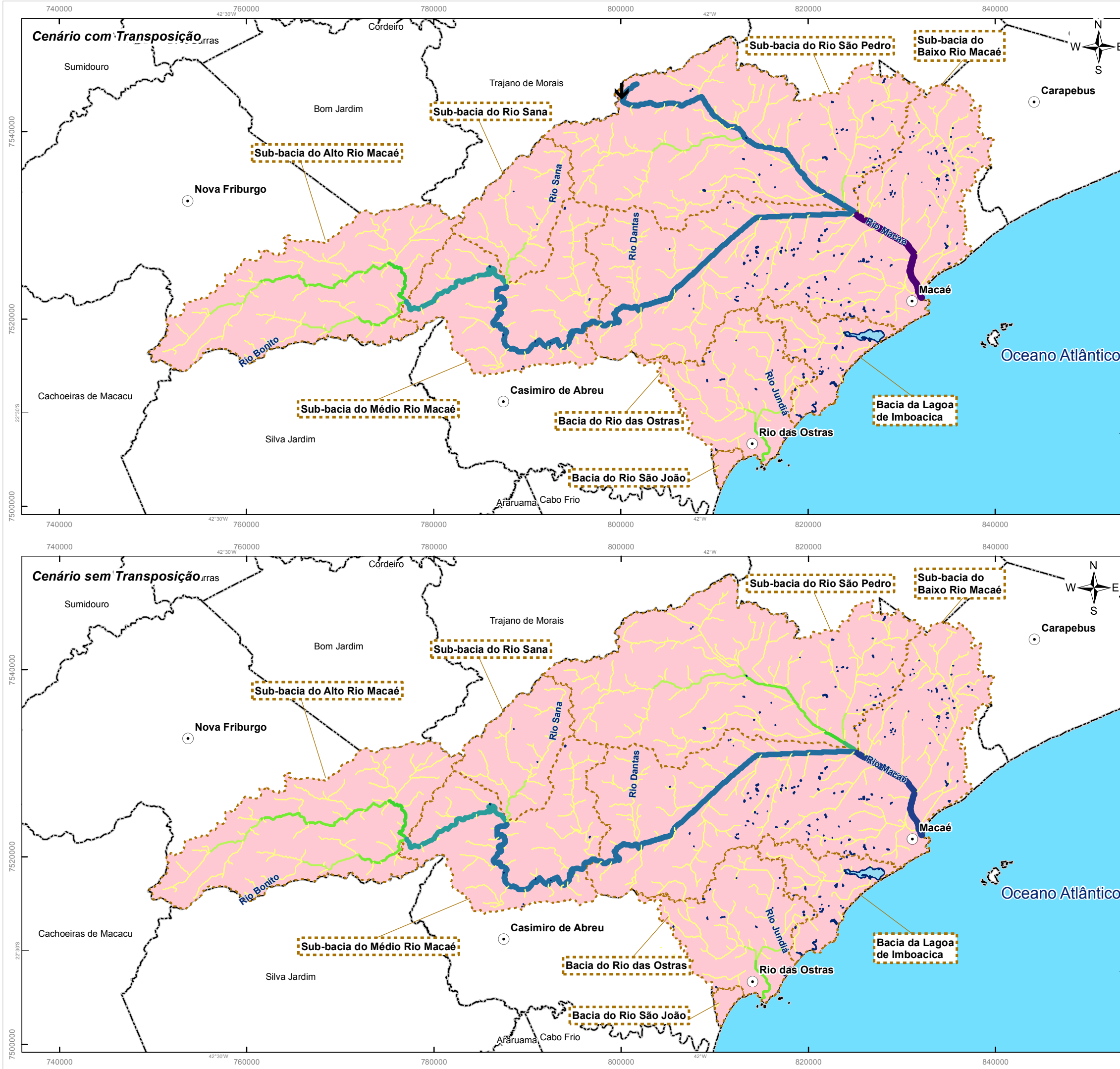
O balanço hídrico quantitativo confronta a água disponível e a água consumida em toda a rede de drenagem da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - RH VIII, de acordo com as estimativas vinculadas à cena atual, considerada como o ano 2012. Isto será importante para avaliação das possibilidades de atendimento às demandas hídricas atuais, em termos de quantidade. Inicialmente apresentam-se os dados utilizados de disponibilidade e de demandas hídricas e, então, são apresentados os resultados obtidos.

#### 3.1 Avaliação da Disponibilidade Hídrica

Os estudos de disponibilidade hídrica superficial foram apresentados no “Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-04)”. A avaliação da disponibilidade hídrica consistiu na utilização de dados de postos fluviométricos como referência, e no ajuste e posterior utilização de um modelo hidrológico chuva-vazão. Foi utilizado o modelo distribuído MGB-IPH, calibrado e verificado utilizando dados de vazão dos postos fluviométricos com dados disponíveis na bacia, dando ênfase ao ajuste nas vazões mais baixas, como a  $Q_{90}$ , de forma a refletir adequadamente a disponibilidade de água em períodos críticos em termos de balanço hídrico.

Após as fases de calibração e verificação do modelo hidrológico, foram geradas as vazões de referência nos 723 trechos de rio nos quais foi subdividida a região hidrográfica, seguindo os métodos disponíveis no conjunto de ferramentas ArcHydro do software ArcGIS. Para caracterizar a disponibilidade hídrica da RH VIII foram definidos três referenciais de vazão de estiagem: a  $Q_{90}$  (vazão com 90% permanência),  $Q_{95}$  (vazão com 95% de permanência), e a  $Q_{7,10}$  (mínima das médias das vazões diárias de sete dias consecutivos com dez anos de tempo de retorno). Os valores estatísticos de vazão foram gerados para cada um dos trechos da segmentação da bacia, utilizando as séries de vazão calculadas pelo modelo hidrológico no período de 1971 a 2011. Como resultado, foram obtidos os valores para cada um destes referenciais de estiagem em cada trecho da rede de drenagem, os quais estão representados na Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3, extraídas do “Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras”. Nelas se mostra a rede de drenagem com um gradiente de cores conforme o valor de vazão do trecho.

**Figura 3.1 Disponibilidade Hídrica da RH Cenário de Vazão: Q90%**



**Legenda**

- ↓ Transposição de Bacia
- Sede dos Municípios
- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal

**Disponibilidade Hídrica Q90 (m³/s)**

- 0.01 - 0.50
- 0.51 - 1.00
- 1.01 - 2.00
- 2.01 - 3.00
- 3.01 - 4.00
- 4.01 - 5.00
- 5.01 - 10.00
- 10.01 - 15.00
- 15.01 - 20.00

**Referências Cartográficas:**

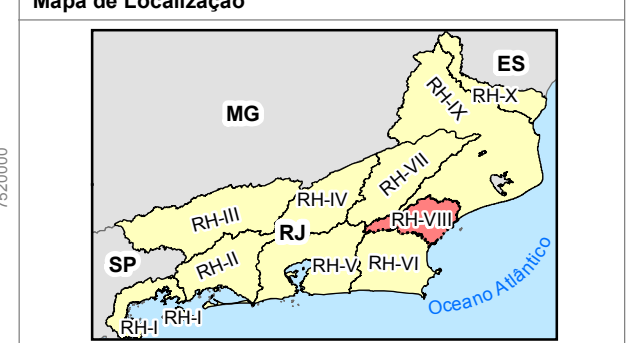
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Disponibilidade Hídrica: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

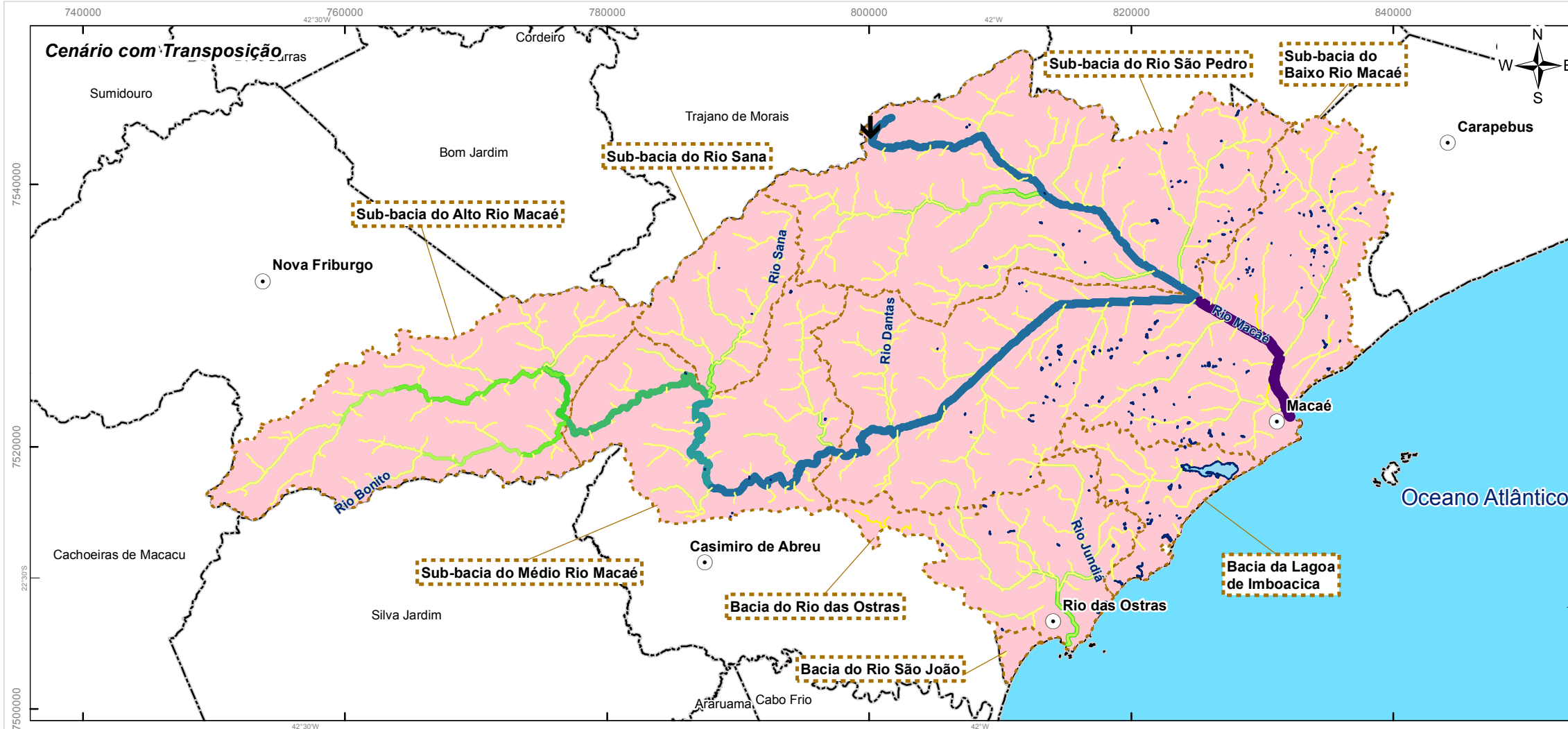


**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Consórcio MACAÉ OSTRAS:

**Figura 3.2 Disponibilidade Hídrica da RH  
Cenário de Vazão: Q95**



- Legenda**
- ↓ Transposição de Bacia
  - Sede dos Municípios
  - Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
  - Limite Municipal

- Disponibilidade Hídrica  
Q95 (m³/s)**
- 0.01 - 0.50
  - 0.51 - 1.00
  - 1.01 - 2.00
  - 2.01 - 3.00
  - 3.01 - 4.00
  - 4.01 - 5.00
  - 5.01 - 10.00
  - 10.01 - 15.00
  - 15.01 - 20.00

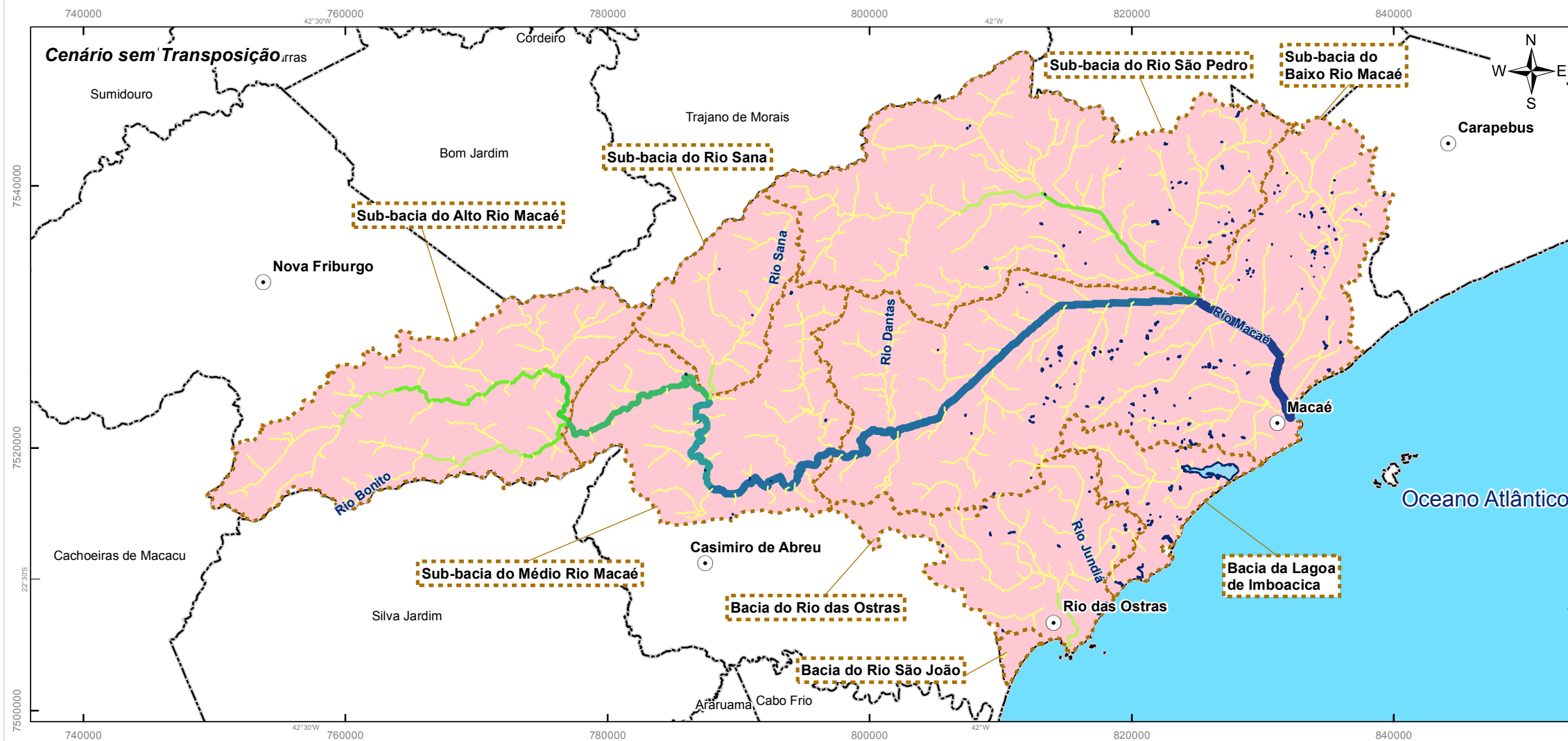
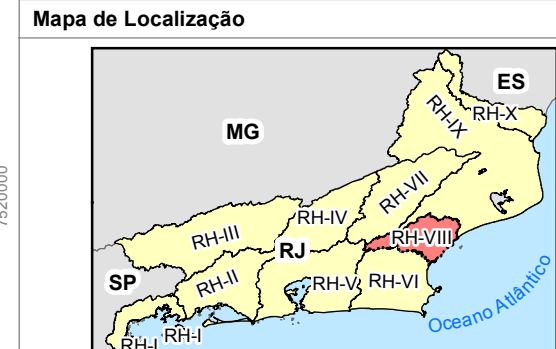
- Referências Cartográficas:**
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1: 25.000 (IBGE/SEA) - base intermediária - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
  - Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
  - Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
  - Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
  - Disponibilidade Hídrica: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

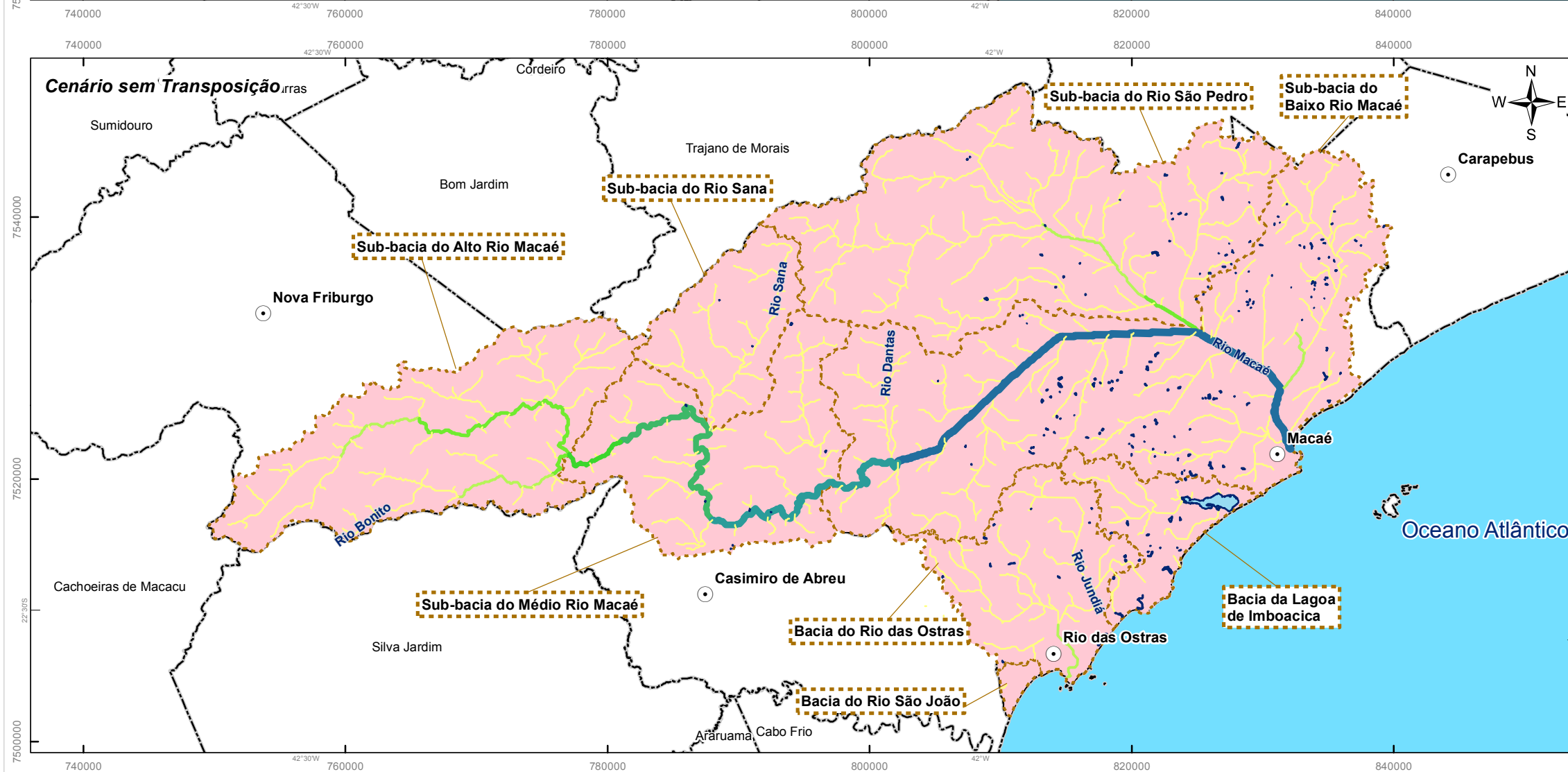
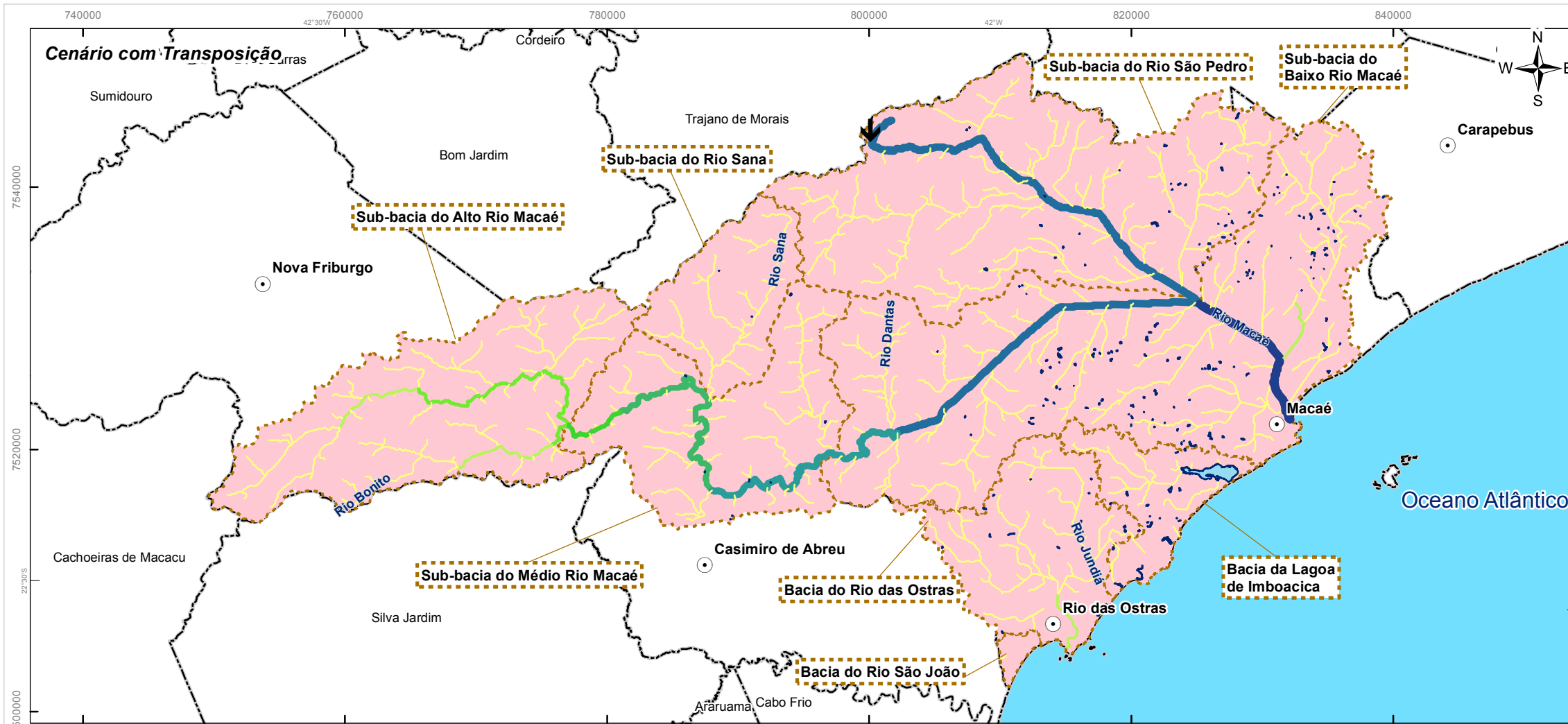
**Informações Cartográficas:**

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000



**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**



**Figura 3.3 Disponibilidade Hídrica da Bacia, Considerando o Critério da Q7,10**

**Legenda**

- ↓ Transposição de Bacia
- Sede dos Municípios

**Disponibilidade Hídrica Q7,10 (m³/s)**

- 0.00 - 0.50
- 0.51 - 1.00
- 1.01 - 2.00
- 2.01 - 3.00
- 3.01 - 4.00
- 4.01 - 5.00
- 5.01 - 10.00
- 10.01 - 15.00
- 15.01 - 20.00

- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal

**Referências Cartográficas:**

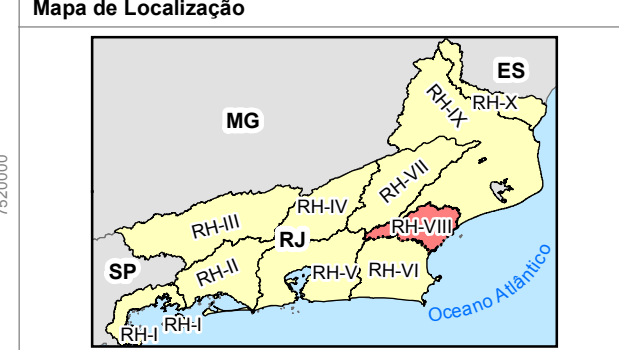
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Disponibilidade Hídrica: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000



**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Na bacia do rio Macaé existe o aproveitamento hidrelétrico de Macabu, pertencente à CERJ, situado no distrito de Glicério (Macaé). Nesta usina a geração de energia é realizada a partir da transposição de águas da bacia do rio Macabu para a bacia do rio São Pedro, afluente do rio Macaé, através de um aqueduto com cerca de 4,8 km de extensão e queda bruta de 336 m. A usina tem potência instalada de 21.000 kw e vazão regularizada de cerca de 5,4 m<sup>3</sup>/s (ALUPAR, 2010). Diante disto, estabeleceram-se novos referenciais de vazões de estiagem, considerando esta transposição hídrica de bacias. A Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3 também indicam o local da bacia onde ocorre esta intervenção, além dos novos referenciais de vazões de estiagem, para cada uma das vazões definidas anteriormente.

Adicionalmente, neste relatório são apresentados os três referenciais de vazão de estiagem em cada uma das sub-bacias da bacia do rio Macaé, além das demais bacias que formam a RH VIII. Os valores referem-se à situação no exutório de cada uma das unidades. O Quadro 3.1 apresenta estes valores, sendo que nas sub-bacias do Médio Macaé e Baixo Macaé são apresentadas as disponibilidades total e o valor incremental correspondente às áreas destas sub-bacias.

Quadro 3.1: Vazões de Referência em cada Sub-bacia da RH VIII

Bacia	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Disponibilidades - sem transposição (m <sup>3</sup> /s)		
			Q <sub>90</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>7,10</sub>
Rio Macaé	Alto Macaé	208,8	4,01	3,40	2,86
	Rio Sana	110,06	0,79	0,62	0,43
	Rio São Pedro	477,68	3,05	2,32	1,56
	Médio Macaé – total	577,87	7,04	5,87	4,61
	Médio Macaé – incremental	259	2,24	1,85	1,33
	Baixo Macaé – total	1713,56	13,93	11,39	8,36
	Baixo Macaé – incremental	658,01	3,85	3,20	2,19
Rio Imboacica	Rio Imboacica	58,12	0,18	0,11	0,02
Rio das Ostras	Rio das Ostras	171,17	1,27	0,96	0,63

Considerando as sub-bacias que sofrem o efeito de transposição de bacia do Rio Macabu, foram obtidos os referenciais de estiagem adicionais apresentados no Quadro 3.2, onde há um acréscimo máximo de 5,4 m<sup>3</sup>/s a partir do Rio São Pedro.

Quadro 3.2: Vazões de Referência nas Sub-bacias sob Influência da Transposição de Bacia do Rio Macabu

Bacia	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Disponibilidades - sem transposição (m <sup>3</sup> /s)		
			Q <sub>90</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>7,10</sub>
Rio Macaé	Rio São Pedro	477,68	8,41	7,68	6,92
	Baixo Macaé – total	1713,56	19,30	16,80	13,80
	Baixo Macaé – incremental	658,01	3,85	3,20	2,19

## 3.2 Demandas e Consumos de Água

A partir dos dados apresentados no “Relatório do Diagnóstico das Demandas Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - RD-05” foi realizada uma consolidação das demandas hídricas, alocando-as na região hidrográfica de forma pontual ou distribuída, dependendo do tipo de uso.

### 3.2.1 Demandas Pontuais: Abastecimento Urbano

As informações relativas às captações do abastecimento urbano foram obtidas de diversas fontes, como o Cadastro Nacional de Recursos Hídricos (CNAHR), relatórios fornecidos pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE) e ESANE, além de visitas técnicas. Devido à variação apresentada entre os valores em cada ponto atribuíram-se os valores de demanda com base nas estimativas da população, conforme metodologia descrita no relatório específico RD-05, já citado. Considerando que em alguns casos o local de captação de um determinado distrito não está localizado dentro dos limites do mesmo ou, então, existe mais de uma captação em um mesmo distrito, procurou-se fazer esta alocação a mais representativa possível, de acordo com as informações disponibilizadas, de forma que o balanço hídrico representasse o mais próximo possível a realidade da RH VIII.

O Quadro 3.3 apresenta os locais identificados como pontos de captação para abastecimento público na Região Hidrográfica. Os pontos fazem referência à Figura 3.4.

Quadro 3.3: Alocação dos Valores de Demandas e Consumos do Abastecimento Público

Código	Localidade da captação	Captação (l/s)	Empresa	Nome	Longitude	Latitude
U1	Severina	800	CEDAE	ETA Severina	-41.8925	-22.2972
U2	Ponte do Baião	420	CEDAE	ETA Rio Dourado	-42.0827	-22.3879
U3	Casimiro de Abreu*	105	SAAE		-42.2122	-22.4074
U4	Córrego do Ouro	20	CEDAE	ETA - Córrego do Ouro	-41.9859	-22.2737
U5	Trapiche	15	CEDAE	ETA - Trapiche	-42.0214	-22.2321
U6	Óleo	6	CEDAE		-42.0658	-22.2369
U7	Bicuda Grande	9	CEDAE		-42.0755	-22.3544
U8	Areia Branca	6	CEDAE	UTSA - Areia Branca	-42.0362	-22.3364
U9	Bicuda Pequena	5	CEDAE	UTSA - Bicuda Pequena	-42.1363	-22.3547
U10	Frade	10	CEDAE		-42.1029	-22.2399
U11	São Pedro da Serra*	8,87	Águas de Nova Friburgo	ETA Tapera	-42.3359	-22.3121
U12	Sana*	9	CEDAE		-42.1763	-22.3339
U13	Lumiar*	8,4	Águas de Nova Friburgo	ETA Boa Esperança	-42.3115	-22.3464

\* pequenos pontos de captação agregados no distrito



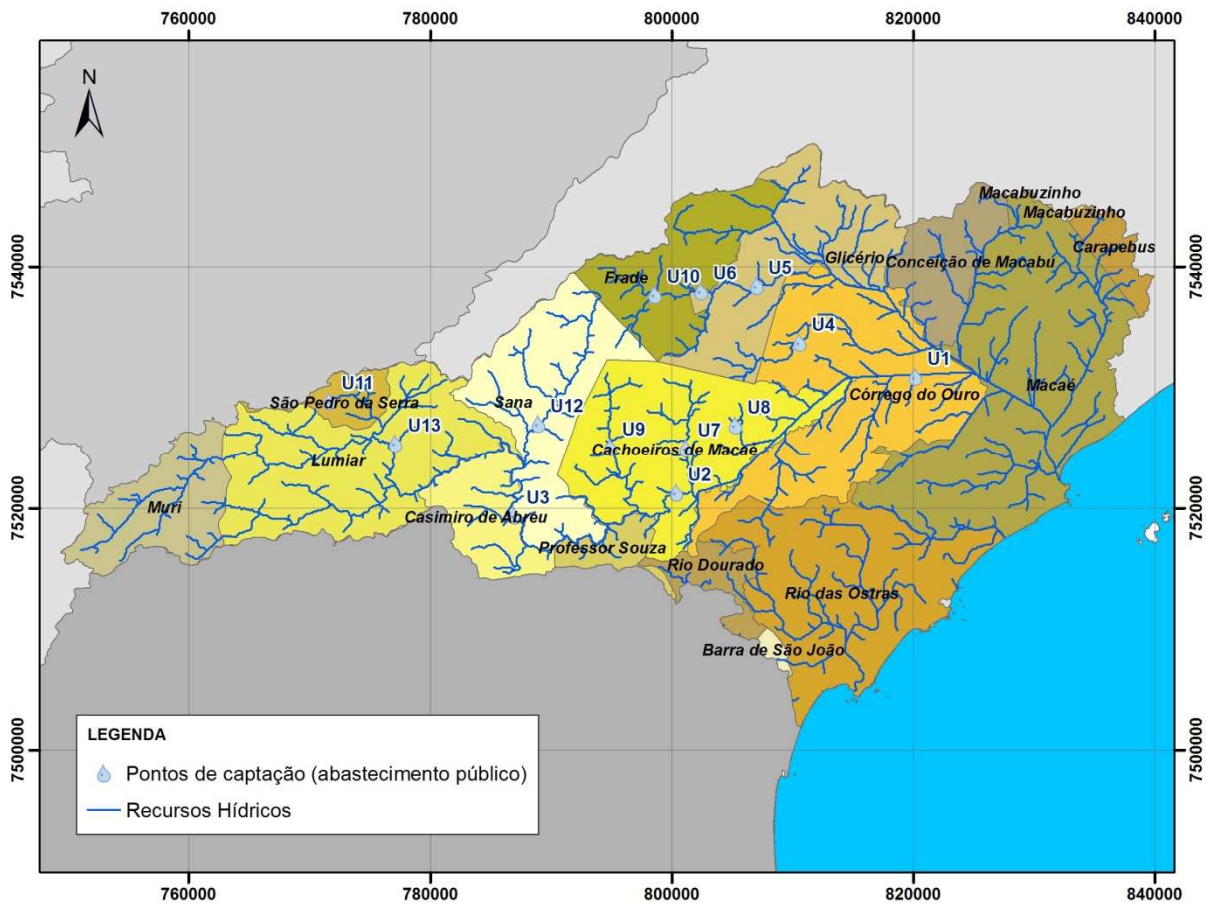


Figura 3.4: Localização dos Pontos de Captação para Abastecimento Urbano na RH VIII

O Quadro 3.4 apresenta a localização dos pontos de captação e os valores de demanda obtidos com base nas estimativas da população para a cena atual (2012). Considerando que algumas captações estão localizadas distantes do local de consumo, ou mesmo em outra bacia, atribuiu-se uma taxa de retorno para cada uma, resultando no valor de consumo entre o ponto de captação e o de retorno da água. Com relação às localidades de Murri, Conceição de Macabu, Macabuzinho e Carapebus não foi identificada nenhuma referência à existência de pontos de captação na bacia do rio Macaé, de modo que foram retirados do balanço hídrico.

Quadro 3.4: Compatibilização entre as Demandas Estimadas e os Locais de Captação da RH-VIII

Código do ponto	Localização da captação	Local de consumo	Demanda 2012 (l/s)	Retorno (%)	Consumo 2012 (l/s)	Consumo atribuído no ponto (l/s)
U1	Severina	Macaé	1010,83	0	1010,83	1010,83
U2	Ponte do Baião	Rio das Ostras / Barra de São João / Rio Dourado	631,94	0	631,94	631,94
U3	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu	74,19	0	74,19	74,19
U4	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro	15,41	80	3,08	3,08
U5	Trapiche	Glicério	13,05	80	2,61	1,31
U6	Óleo					1,31
U7	Bicuda Grande	Cachoeiros de Macaé	0,48	80	0,10	0,03
U8	Areia Branca					0,03
U9	Bicuda Pequena					0,03
U10	Frade	Frade	3,80	80	0,76	0,76

Código do ponto	Localização da captação	Local de consumo	Demanda 2012 (l/s)	Retorno (%)	Consumo 2012 (l/s)	Consumo atribuído no ponto (l/s)
U11	São Pedro da Serra	São Pedro da Serra	3,49	80	0,70	0,70
U12	Sana	Sana	5,00	80	1,00	1,00
U13	Lumiar	Lumiar	4,84	80	0,97	0,48
Sem referência, fora da bacia	Mury	Mury	19,20	80	3,84	0,00
	Conceição Macabu	Conceição Macabu	76,51	80	15,30	0,00
	Macabuzinho	Macabuzinho	0,56	80	0,11	0,00
	Carapebus	Carapebus	0,00	80	0,00	0,00
Total			1859,30		1745,44	1726,18

### 3.2.2 Demandas Pontuais: Indústria

As demandas referentes ao abastecimento industrial foram obtidas conforme os dados apresentados no RD-05 para a cena atual (2012). Os dados foram apresentados com um único valor para cada município pertencente à Região Hidrográfica VIII. As demandas estimadas para a cena atual foram alocadas de acordo com a localização dos pontos informados pelo CNARH, conforme apresentado na Figura 3.5.

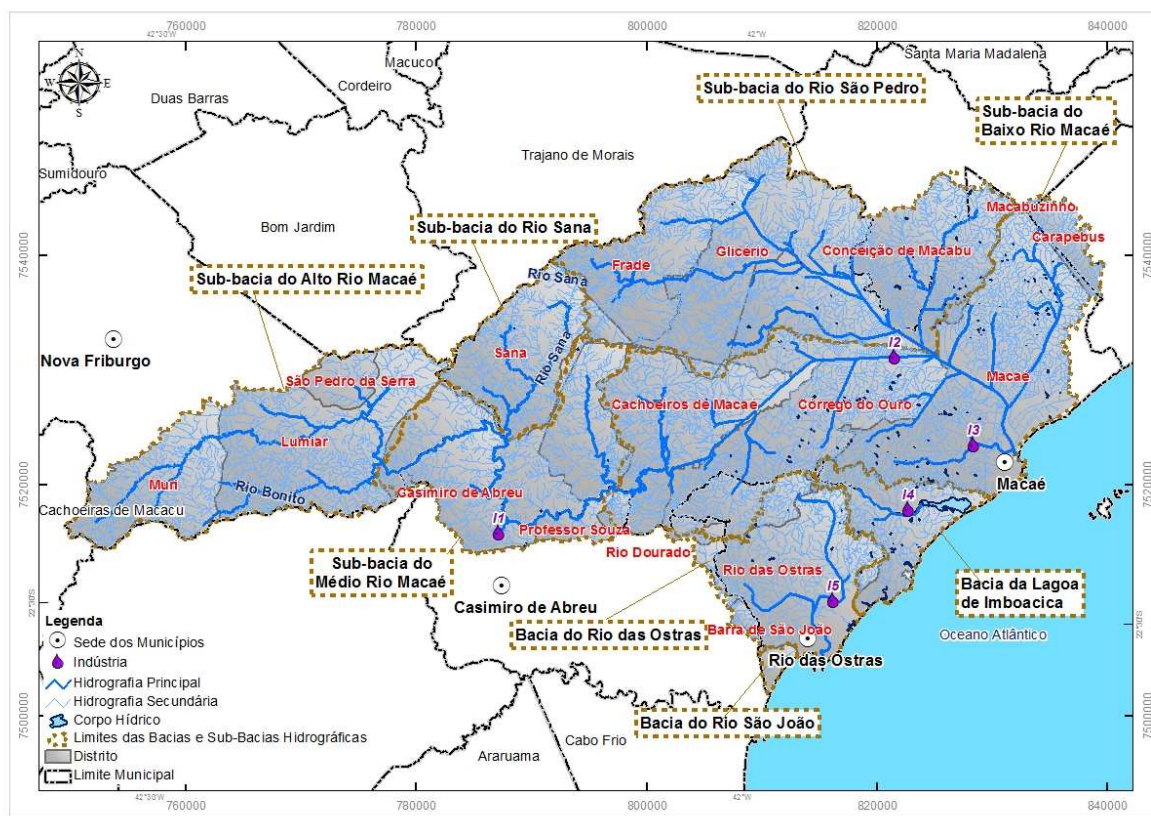


Figura 3.5: Localização dos Pontos de Captação para Uso Industrial na RH VIII

O Quadro 3.5 apresenta uma compatibilização entre os valores estimados e os indicados pelo CNARH, realizando-se uma ponderação conforme a localização dos pontos. O retorno deste uso foi estabelecido como 80% da demanda. Não foram atribuídos valores de demandas nas localidades de Carapebus e nos distritos pertencentes à Nova Friburgo, pois foram considerados como captções fora da bacia.

Quadro 3.5: Compatibilização entre os Dados Estimados e Fornecidos pelo CNARH, com Relação à Indústria

Código	Município	Demandas estimadas (l/s)	Retorno (%)	Consumos estimados (m³/s)
I1	Casimiro de Abreu	360	0.8	0.07
I2	Macaé	1.311	0	1.31
I3	Macaé	69	0.8	0.01
I4	Rio das Ostras	1.071	0.8	0.21
I5	Rio das Ostras	459	0.8	0.09
Total		3.270	-	1.70

### 3.2.3 Demandas e Consumos Distribuídos: Abastecimento Rural, Irrigação e Uso Animal

Com relação às demandas de irrigação, abastecimento rural e uso animal, adotou-se um critério de atribuição das demandas de forma distribuída, ou seja, de acordo com os valores totais estimados em cada distrito ou município e distribuindo-se igualmente em toda a extensão da localidade. Os dados apresentados pelo CNARH abrangem apenas uma parcela destas classes, conforme descrito no relatório de demandas (RD-05), impossibilitando a aplicação de uma abordagem pontual. Os três quadros apresentados em sequência trazem as demandas e os consumos estimados para cada distrito da Região Hidrográfica VIII, referentes ao uso da irrigação, abastecimento rural e uso animal, respectivamente. Os dados estão baseados nas estimativas para a cena atual (2012), apresentadas no RD-05. As taxas de retorno são ao usualmente adotadas na literatura técnica.

Quadro 3.6: Demandas e Consumos com Relação ao Uso da Irrigação

Distrito	Demandas (l/s)	Retorno (%)	Consumos (l/s)
Barra de São João	6	20%	5
Cachoeiros de Macaé	15	20%	12
Carapebus	36	20%	29
Casimiro de Abreu	0	20%	0
Conceição de Macabu	65	20%	52
Córrego do Ouro	35	20%	28
Frade	0	20%	0
Glicério	8	20%	7
Lumiar	551	20%	441
Macabuzinho	0	20%	0
Macaé	69	20%	55
Muri	241	20%	193
Professor Souza	2	20%	2
Rio das Ostras	37	20%	30
Rio Dourado	14	20%	11
Sana	0	20%	0
São Pedro da Serra	63	20%	51
Total	1.145	20%	916

Quadro 3.7: Demandas e Consumos com Relação ao Uso do Abastecimento Rural

Distrito	Demanda (l/s)	Retorno (%)	Consumo (l/s)
Barra de São João	7,5	50%	3,75
Cachoeiros de Macaé	1,7	50%	0,85
Carapebus	1,1	50%	0,55
Casimiro de Abreu	2,3	50%	1,15
Conceição de Macabu	3,1	50%	1,55
Córrego do Ouro	0,7	50%	0,35
Frade	0,4	50%	0,2
Glicério	0,4	50%	0,2
Lumiar	5,5	50%	2,75
Macabuzinho	1,3	50%	0,65
Macaé	1,3	50%	0,65
Muri	2,1	50%	1,05
Professor Souza	0,9	50%	0,45
Rio das Ostras	10,5	50%	5,25
Rio Dourado	0,7	50%	0,35
Sana	0,7	50%	0,35
São Pedro da Serra	3,6	50%	1,8
<b>Total</b>	<b>043,8</b>	<b>50%</b>	<b>021,9</b>

Quadro 3.8: Demandas e Consumos com Relação ao Uso Animal

Distrito	Demanda (l/s)	Retorno	Consumo (l/s)
Carapebus	6,2	20%	4,9
Barra de São João	0,2	20%	0,2
Casimiro de Abreu	2,7	20%	2,2
Professor Souza	1,1	20%	0,9
Rio Dourado	1,4	20%	1,1
Conceição de Macabu	9,2	20%	7,3
Macabuzinho	0,2	20%	0,1
Cachoeiros de Macaé	9,0	20%	7,2
Córrego do Ouro	10,5	20%	8,4
Frade	4,9	20%	3,9
Glicério	6,6	20%	5,2
Macaé	14,5	20%	11,6
Sana	6,9	20%	5,5
Lumiar	2,5	20%	2,0
Muri	1,1	20%	0,9
São Pedro da Serra	0,3	20%	0,2
Rio das Ostras	16,2	20%	13,0
<b>Total</b>	<b>93,4</b>	<b>20%</b>	<b>74,7</b>

A Figura 3.6 apresenta a distribuição dos valores totais estimados de consumos difusos nos distritos da região hidrográfica. Os consumos estão apresentados tanto na forma absoluta quanto na forma relativa, de acordo com a área do distrito. Observa-se que os distritos de Nova Friburgo possuem os consumos mais elevados, em função dos altos valores de irrigação estimados para esta região em comparação com as demais áreas.

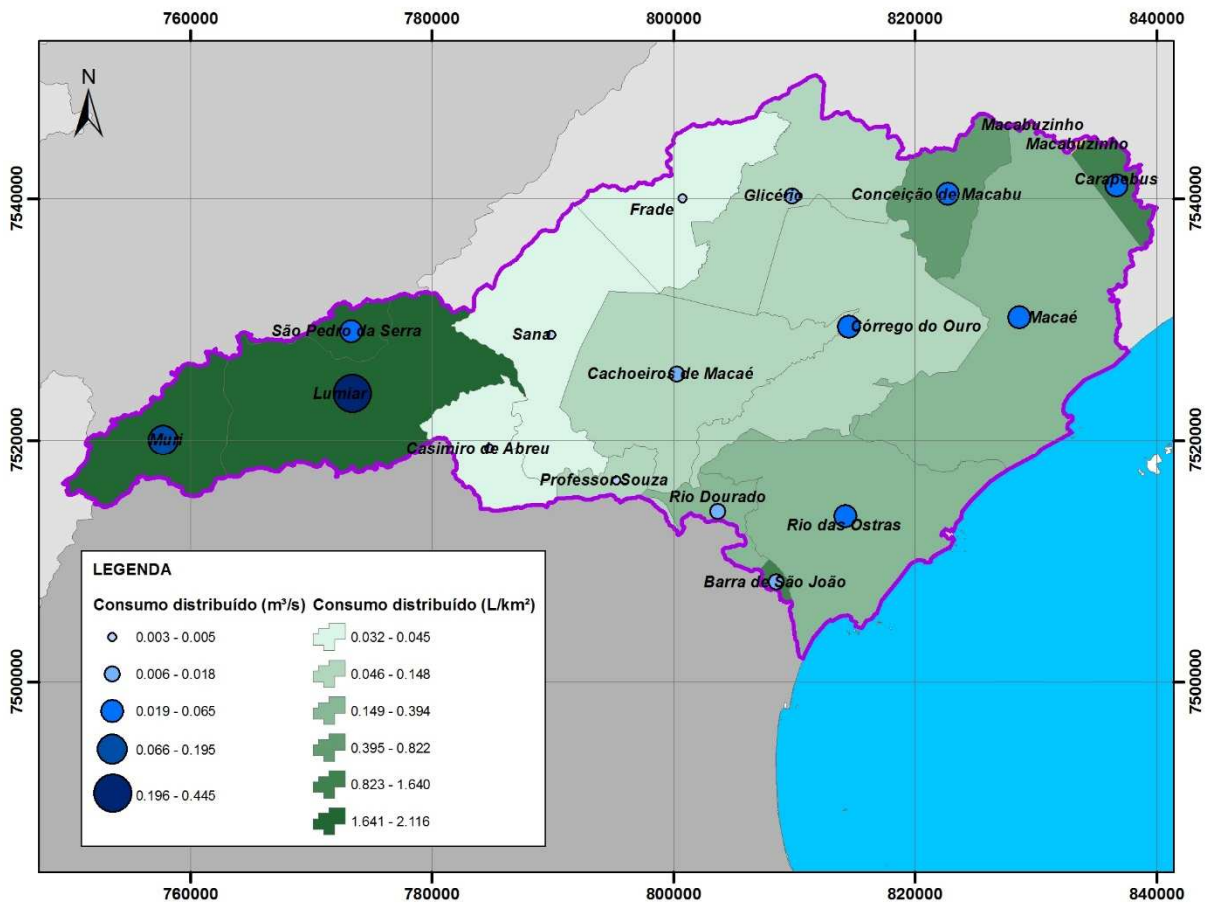


Figura 3.6: Consumo da Irrigação, Abastecimento Rural e Uso Animal, Distribuído em Cada Distrito da Região Hidrográfica

A partir da definição do consumo total em cada porção territorial da região hidrográfica, o passo seguinte foi distribuir o valor para cada uma das unidades de discretização na qual o modelo de balanço hídrico é operado. A região de estudo foi subdividida em mais de 700 sub-unidades, sendo que para cada uma delas foi realizado o balanço hídrico acumulado entre os consumos e as disponibilidades. A Figura 3.7 apresenta o resultado da distribuição dos valores de consumo em cada uma das sub-unidades em valores relativos, observando-se a coerência com relação ao distrito na qual as mesmas se inserem.

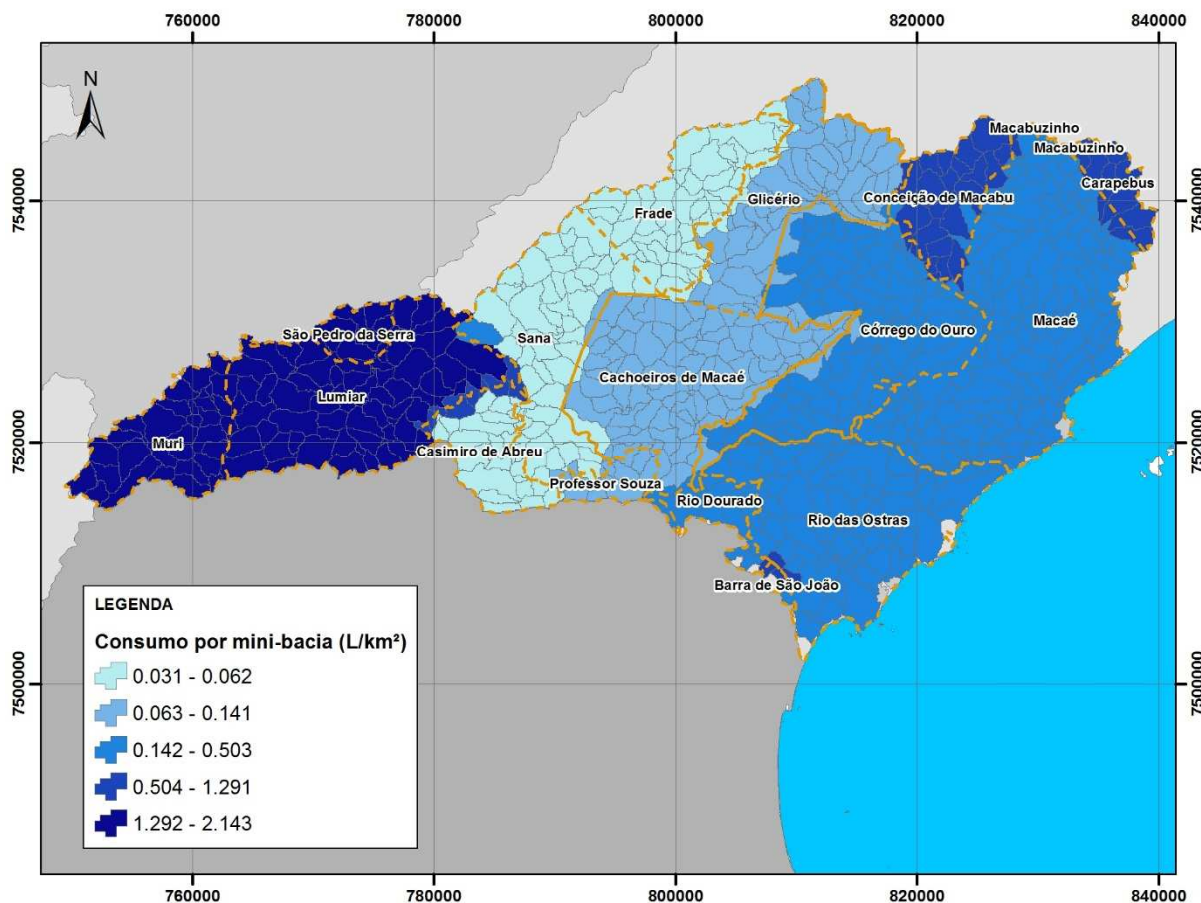


Figura 3.7: Consumo da Irrigação, Abastecimento Rural e Uso Animal, Distribuído em Cada Unidade de Discretização do Modelo de Balanço Hídrico

### 3.3 Balanço Hídrico para a cena atual (2012)

As diferentes vazões de referência foram usadas nas simulações, considerando também a existência ou não da transposição de águas do Rio Macabu. A razão para o uso de ambas as situações é a consideração da hipótese que a transposição possa ser interrompida. Foram consideradas as demandas provenientes de captações superficiais e também os usuários de poços rasos ou profundos. Desse modo, foram gerados os balanços hídricos apresentados da Figura 3.8 até a Figura 3.10.

Quadro 3.9: Comprometimento da Disponibilidade Hídrica, Considerando o Consumo Hídrico(2012)

ID	Rio	Local	Área acumulada (km <sup>2</sup> )	Q <sub>90</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>7,10</sub>	Consumo acumulado (m <sup>3</sup> /s)	% de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica		
				(m <sup>3</sup> /s)				Q <sub>90</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>7,10</sub>
								(m <sup>3</sup> /s)		
1	Macaé	Foz	1712	13,93	11,39	8,36	3,88	28%	34%	46%
2	Macaé	Jusante foz rio São Pedro	1416	12,44	10,22	7,70	3,85	31%	38%	50%
3	Macaé	BR-101	927	9,20	7,57	5,82	3,71	40%	49%	64%
4	Macaé	Fazenda Airis	841	8,54	7,06	5,46	1,37	16%	19%	25%
5	Macaé	Ponte do Baião	659	7,17	5,96	4,67	1,36	19%	23%	29%
6	Macaé	Barragem Proposta	642	7,07	5,89	4,63	0,76	11%	13%	17%
7	Macaé	São Romão	338	4,46	3,77	3,15	0,58	13%	15%	18%
8	Macaé	Galdinópolis	101	1,53	1,34	1,16	0,21	14%	16%	18%
9	Bonito	Piller	70	1,20	1,03	0,88	0,01	1%	1%	1%
10	Sana	Barra do Sana	110	0,79	0,62	0,43	0,01	1%	1%	2%
11	São Pedro	Montante BR-101	308	2,99	2,29	1,53	0,13	4%	6%	9%
12	São Pedro	Foz	478	3,05	2,32	1,56	0,14	4%	6%	9%
13	Lagoa Imboacica	Foz	58	0,18	0,11	0,02	0,10	55%	88%	572%
14	Rio das Ostras	Foz	171	1,27	0,96	0,63	0,27	21%	28%	42%

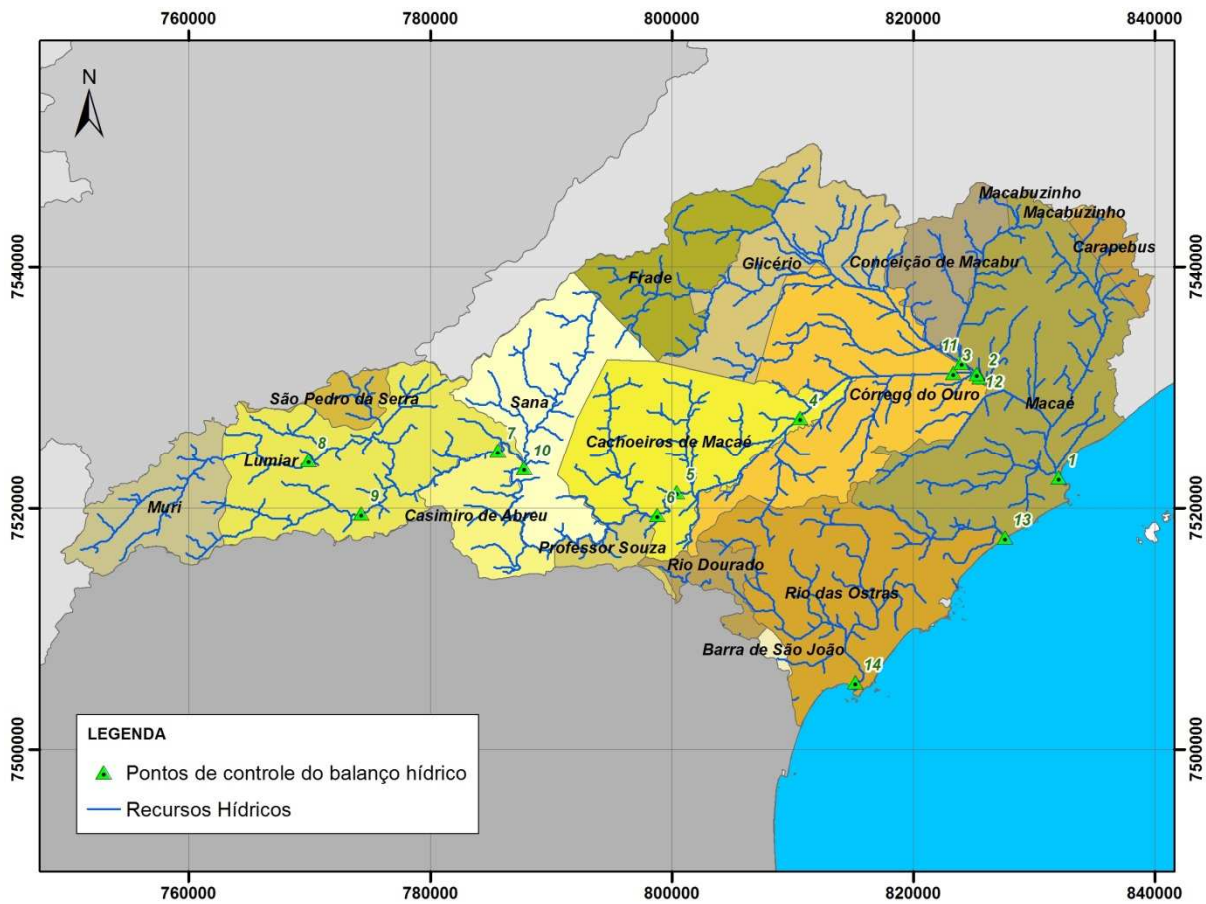
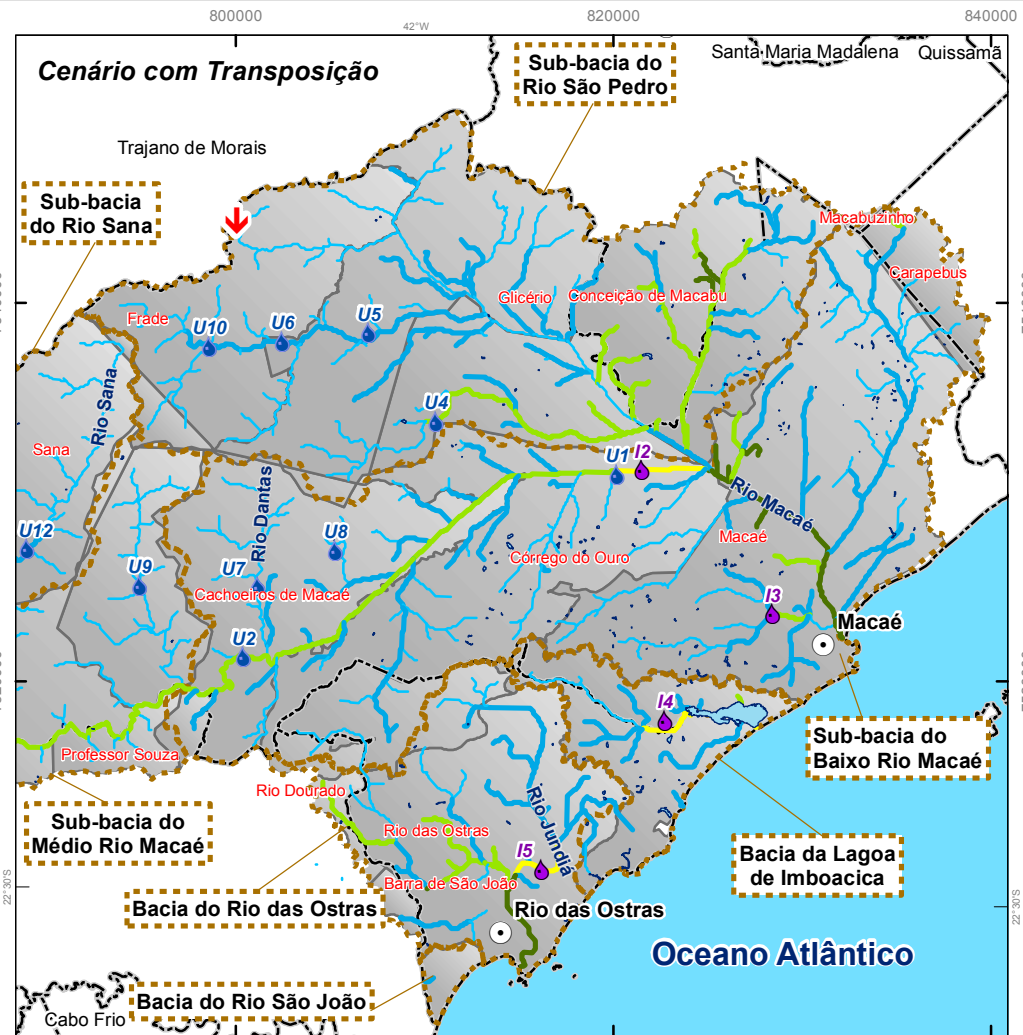


Figura 3.8: Localização dos Pontos de Controle do Balanço Hídrico Apresentados no Quadro 3.9



**Descrição dos Pontos de Captação:**

Código	Distrito Abastecido	Observação
<b>Abastecimento Público</b>		
U1	Areia Branca	Areia Branca (Cachoeiros de Macaé)
U10	Mury	Mury
U11	Óleo	Óleo
U12	Rio das Ostras	Rio das Ostras
U13	Sana	Sana
U14	São Pedro da Serra	São Pedro da Serra
U15	Trapiche	Trapiche
U2	Bicuda Grande	Bicuda Grande (Cachoeiros de Macaé)
U3	Bicuda Pequena	Bicuda Pequena (Cachoeiros de Macaé)
U4	Casimiro / Prof Souza / RD	Consórcio Intermunicipal (Casimiro de Abreu / Rio das Ostras)
U5	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
U6	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro
U7	Frade	Frade
U8	Lumiar	Lumiar
U9	Macaé	Macaé
<b>Indústria</b>		
I1	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
I2	Macaé	Macaé
I3	Macaé	Macaé
I4	Macaé	Macaé
I5	Rio das Ostras	Rio das Ostras
I6	Rio das Ostras	Rio das Ostras



**Figura 3.09 Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual - 2012 (Q90%)**

**Legenda**

- Transposição de Bacias
  - Sede dos Municípios
  - Indústria
  - Abastecimento Público
- Balanço Hídrico**
- 0% - 1%
  - 1.01% - 5%
  - 5.01% - 20%
  - 20.01% - 40%
  - 40.01% - 60%
  - 60.01% - 80%
  - 80.01% - 100%
  - > 100.01%
- Corpo Hídrico
  - Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
  - Limite Municipal

**Referências Cartográficas:**

- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1: 25.000 (IBGE/SEA) - base intermediária - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Balanço Hídrico, Abastecimento Público, Indústria e Transposição de Bacias: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

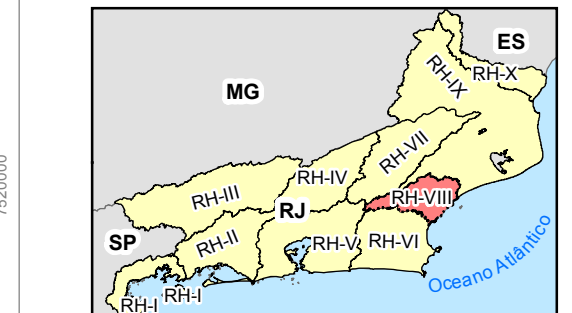
Escala numérica em A3: 1:400.000

Escala Gráfica: 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

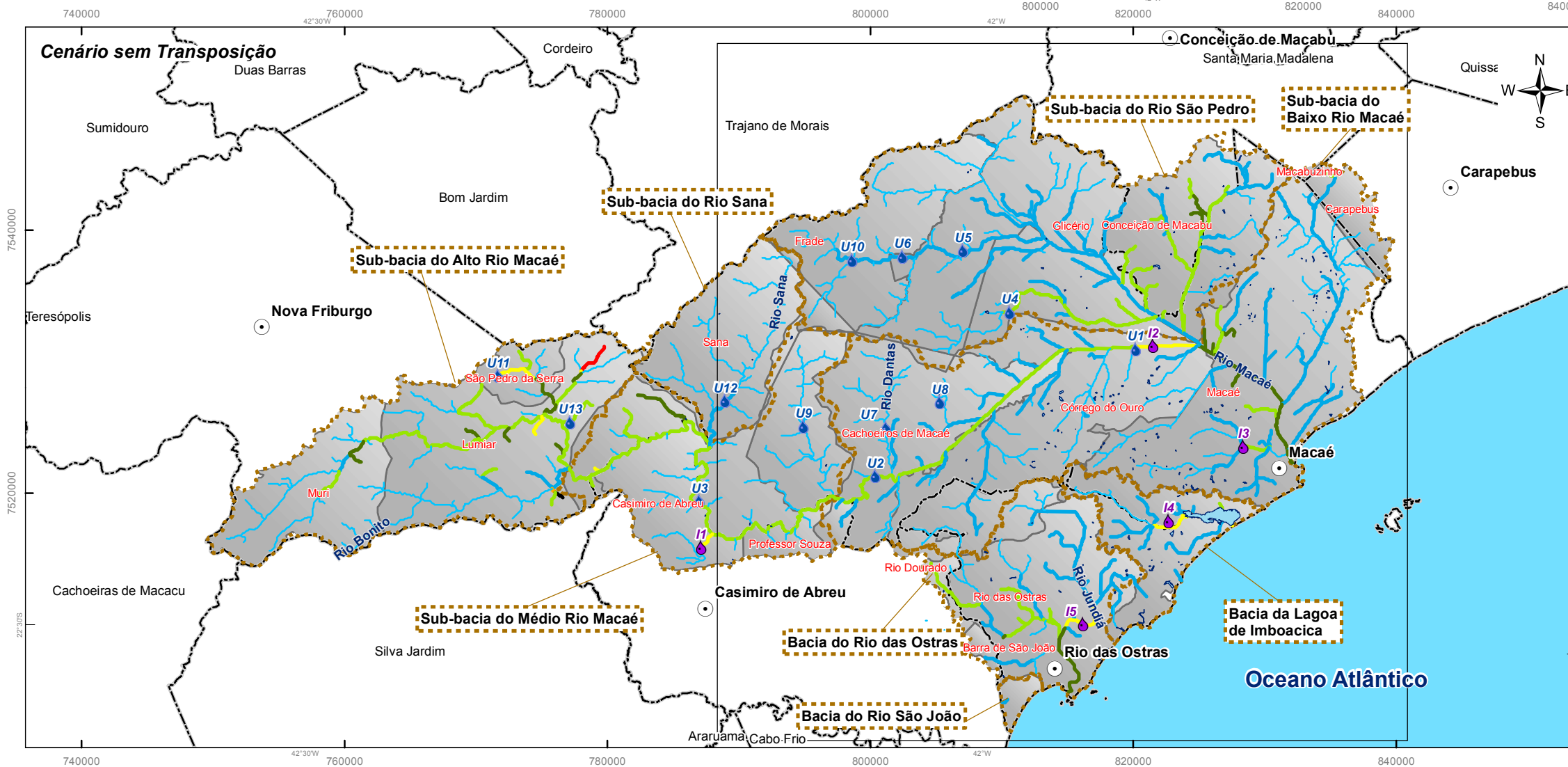
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

**Mapa de Localização**



**Projeto**

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS



Descrição dos Pontos de Captação:

Código	Distrito Abastecido	Observação
<b>Abastecimento Público</b>		
U1	Areia Branca	Areia Branca (Cachoeiros de Macaé)
U10	Mury	Mury
U11	Óleo	Óleo
U12	Rio das Ostras	Rio das Ostras
U13	Sana	Sana
U14	São Pedro da Serra	São Pedro da Serra
U15	Trapiche	Trapiche
U2	Bicuda Grande	Bicuda Grande (Cachoeiros de Macaé)
U3	Bicuda Pequena	Bicuda Pequena (Cachoeiros de Macaé)
U4	Casimiro / Prof Souza / RD	Consórcio Intermunicipal (Casimiro de Abreu / Rio das Ostras)
U5	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
U6	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro
U7	Frade	Frade
U8	Lumiar	Lumiar
U9	Macaé	Macaé
<b>Indústria</b>		
I1	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
I2	Macaé	Macaé
I3	Macaé	Macaé
I4	Macaé	Macaé
I5	Rio das Ostras	Rio das Ostras
I6	Rio das Ostras	Rio das Ostras

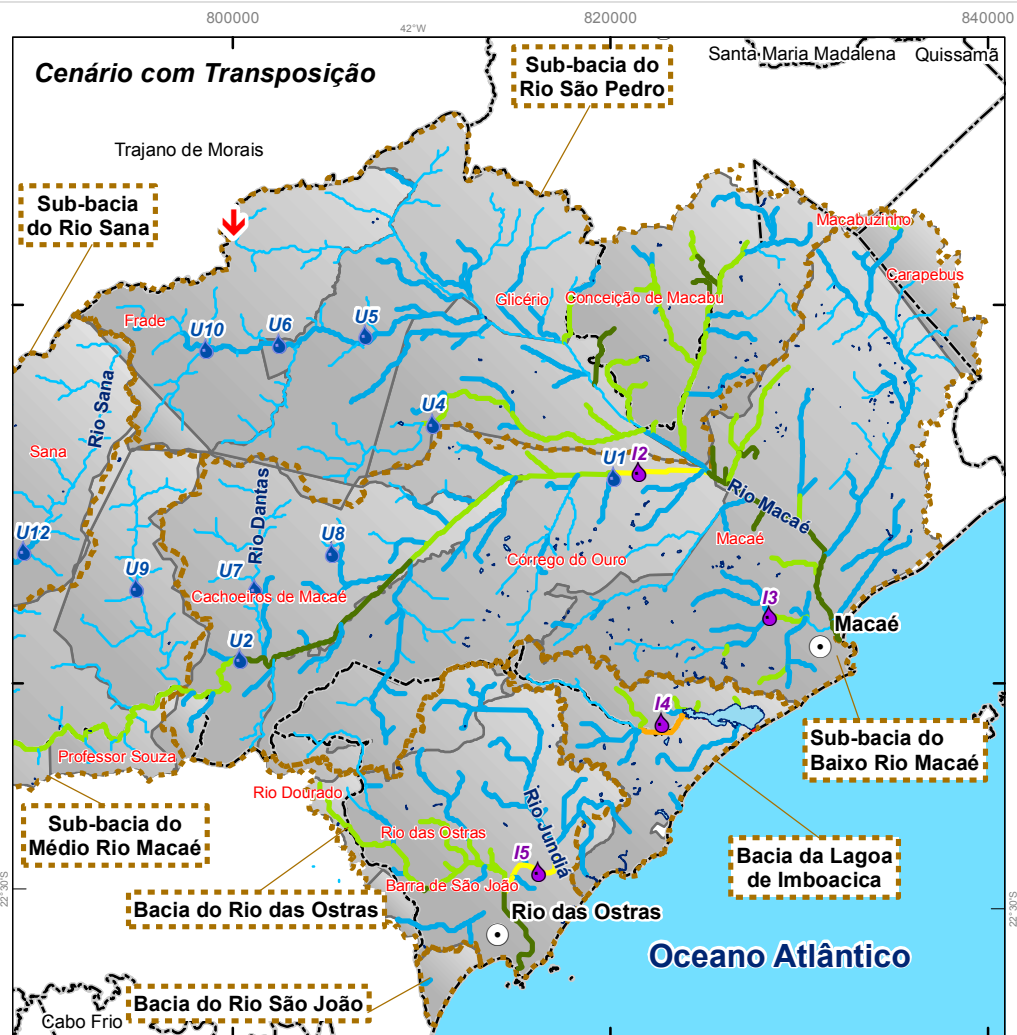


Figura 3.10 Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual - 2012 (Q95%)

**Legenda**

- Transposição de Bacias
- Sede dos Municípios
- Indústria
- Abastecimento Público

**Balanço Hídrico**

- 0% - 1%
- 1.01% - 5%
- 5.01% - 20%
- 20.01% - 40%
- 40.01% - 60%
- 60.01% - 80%
- 80.01% - 100%
- > 100.01%

Corpo Hídrico

Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas

Limite Municipal

Distrito

**Referências Cartográficas:**

- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com o modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1: 25.000 (IBGE/SEA) - base intermediária - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Balanço Hídrico, Abastecimento Público, Indústria e Transposição de Bacias: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

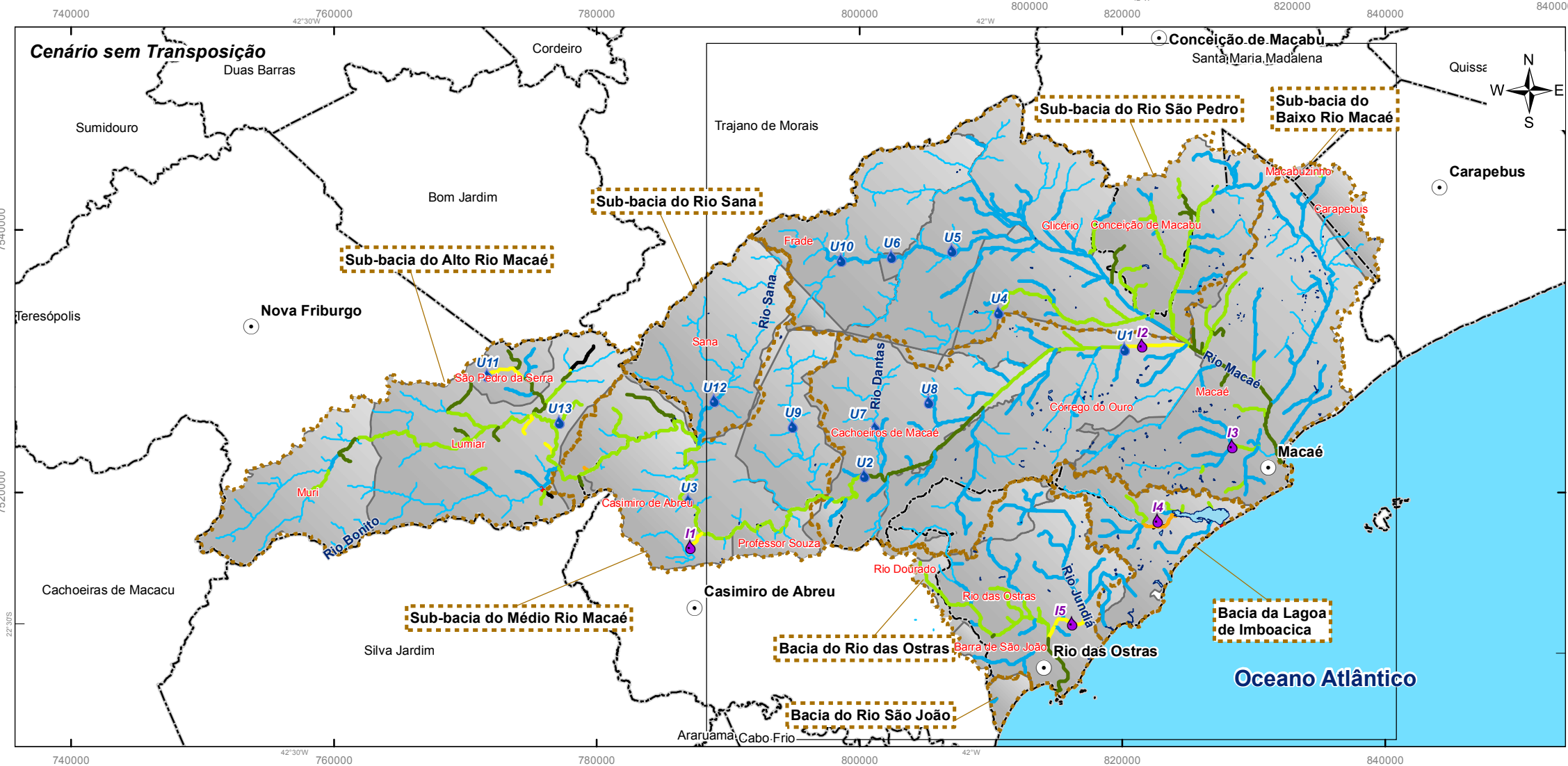
**Informações Cartográficas:**

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000



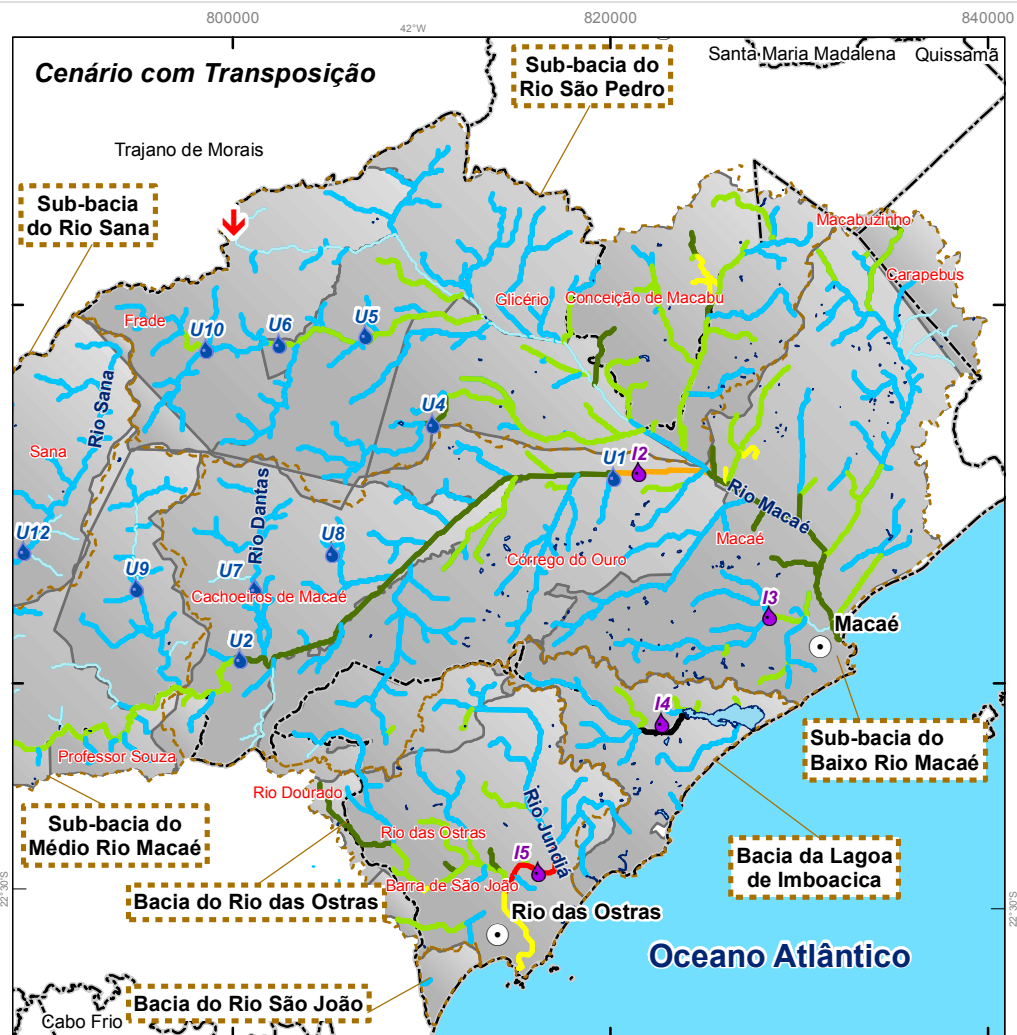
**Projeto**

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS



**Descrição dos Pontos de Captação:**

Código	Distrito Abastecido	Observação
<b>Abastecimento Público</b>		
U1	Areia Branca	Areia Branca (Cachoeiros de Macaé)
U10	Mury	Mury
U11	Óleo	Óleo
U12	Rio das Ostras	Rio das Ostras
U13	Sana	Sana
U14	São Pedro da Serra	São Pedro da Serra
U15	Trapiche	Trapiche
U2	Bicuda Grande	Bicuda Grande (Cachoeiros de Macaé)
U3	Bicuda Pequena	Bicuda Pequena (Cachoeiros de Macaé)
U4	Casimiro / Prof Souza / RD	Consórcio Intermunicipal (Casimiro de Abreu / Rio das Ostras)
U5	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
U6	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro
U7	Frade	Frade
U8	Lumiar	Lumiar
U9	Macaé	Macaé
<b>Indústria</b>		
I1	Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
I2	Macaé	Macaé
I3	Macaé	Macaé
I4	Macaé	Macaé
I5	Rio das Ostras	Rio das Ostras
I6	Rio das Ostras	Rio das Ostras



**Figura 3.11 Mapa do Balanço Hídrico: Cena Atual - 2012 (Q7,10)**

**Legenda**

- Transposição de Bacias
- Sede dos Municípios
- Abastecimento Público
- Indústria
- Balanço Hídrico (Consumo total / Q7,10)**
- 0% - 1%
- 1.01% - 5%
- 5.01% - 20%
- 20.01% - 40%
- 40.01% - 60%
- 60.01% - 80%
- 80.01% - 100%
- > 100.01%
- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal
- Distrito

**Referências Cartográficas:**

- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 (IBGE/SEA) - base intermediária - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;  
 - Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;  
 - Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;  
 - Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;  
 - Balanço Hídrico, Abastecimento Público, Indústria e Transposição de Bacias: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

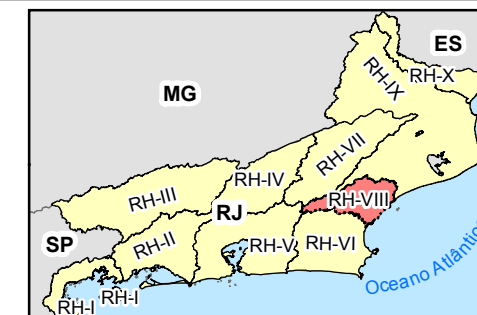
**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

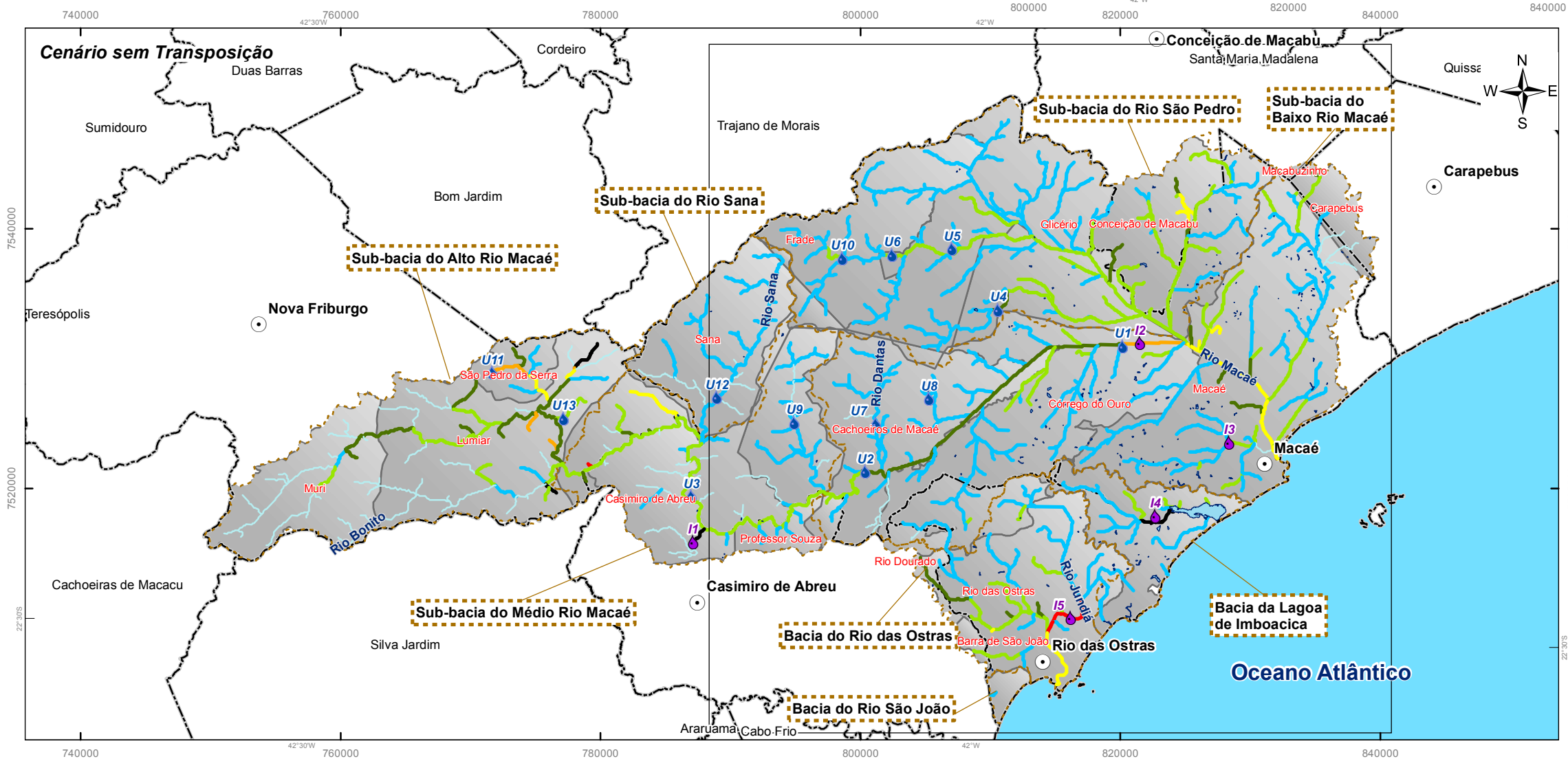
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

**Mapa de Localização**



**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**



### 3.4 Análises e Considerações

Os balanços hídricos na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras demonstram que na maior parte dos trechos fluviais não há comprometimentos significativos das disponibilidades de água para suprimento às demandas. A exceção notável ocorre na região denominada como Severina, localizada a montante da confluência do rio Macaé com o rio São Pedro, e onde exatamente são localizadas as captações mais importantes e estratégicas da Região Hidrográfica VIII: abastecimento público da parte central da cidade de Macaé, uso industrial (Petrobrás) e uso para geração de energia em termelétricas. Neste trecho ocorre um comprometimento significativo, de cerca de 64% da  $Q_{7,10}$ , adotada como referência para a outorga, de direitos de uso de água pelo INEA, como mostra o Quadro 3.9. Ao contrário do que ocorre no uso das termelétricas, os usos para abastecimento público e industrial não promovem o retorno da água demandada para este trecho, pois o uso é realizado em local diferente da captação. Isto agrava a situação do balanço hídrico no trecho.

Além de ser considerado muito crítico um balanço hídrico em que as demandas acumuladas de montante para jusante comprometem mais que 40% das disponibilidades hídricas (ANA, 2005), cabe enfatizar que além da criticidade hidrológica existe neste trecho uma criticidade hidráulica: em uma pequena extensão fluvial são captados  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  para abastecimento público,  $1,31 \text{ m}^3/\text{s}$  para abastecimento industrial e quase  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  para arrefecimento dos termelétricas, resultando na retirada de  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mesmo considerando que o uso das termelétricas é não-consuntivo, retornando na maior parte para o trecho, esta retirada de água compromete mais da metade da vazão remanescente do rio Macaé nesta região, considerando os usos a montante. A conjugação desses dois fatores, hidrológico e hidráulico, determinaram os problemas de abastecimento que já se prenunciam neste trecho, conforme a percepção de seus usuários.

O balanço também aponta a existência de déficit hídrico nas zonas industriais na parte baixa da região hidrográfica. Segundo o cadastro do CNARH, há uma concentração de pequenas indústrias na zona próxima à Lagoa de Imboacica, e também em Rio das Ostras, a maioria delas utilizando captações subterrâneas. As estimativas do uso industrial foram alocadas próximas a estes pontos, embora o ideal neste caso fosse uma abordagem individual de cada indústria envolvida.

## 4 BALANÇO HÍDRICO QUALITATIVO

## 4 BALANÇO HÍDRICO QUALITATIVO

O balanço hídrico qualitativo simula as condições de qualidade de água na rede de drenagem da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras na cena atual. Isto é importante para se avaliar como são atendidas as demandas hídricas em termos de qualidade.

Da mesma forma que o balanço hídrico quantitativo, este balanço considera a rede de drenagem, as vazões fluviais nas diferentes seções fluviais, e as demandas hídricas que nelas são supridas, na cena considerada. Mais além do balanço hídrico quantitativo, devem também ser consideradas as cargas de poluentes lançadas na rede de drenagem, seus processos de transporte, diluição e depuração, e a resultante concentração final dos poluentes, dada pelo quociente entre as cargas de poluentes e as vazões fluviais.

De forma simplificada, na ausência de medições específicas, são adotados coeficientes técnicos que vinculam as cargas de diferentes poluentes lançados às demandas hídricas estimadas na cena atual, considerada como o ano 2012. Estes coeficientes técnicos, e as abordagens adotadas para estimativa das cargas de poluentes, serão a seguir apresentados. O modelo de simulação do balanço hídrico em quantidade e em qualidade é apresentado em anexo. O resultado de sua aplicação e considerações pertinentes finalizarão este capítulo.

### 4.1 Estimativa das Cargas de Poluentes Geradas na Bacia

Os poluentes considerados na simulação de qualidade foram a carga orgânica, medida pela Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias a 20 °C – DBO, a carga bacteriológica, representada pelos Coliformes Termotolerantes – CT, e os nutrientes, representados pelo Fósforo Total - P e pelos Nitratos – NO<sub>3</sub>. Também foi simulado o Oxigênio Dissolvido – OD.

Não foram simulados outros poluentes, tais como agrotóxicos, pela inexistência de informações que permitissem fazê-lo com mínima coerência. Mesmo sabendo-se das suspeitas de usos excessivos de agrotóxicos nas partes altas da bacia do rio Macaé, local onde se localiza uma das atividades agrícolas mais expressivas da bacia, não foram encontradas informações mínimas que permitissem a sua avaliação. Desta forma, adianta-se a recomendação que este problema seja considerado em futuros estudos, em que sejam previstos monitoramentos dos principais agrotóxicos usados nas águas da bacia.

Supôs-se que existiriam dois tipos de emissão, que afetariam as cargas de poluentes consideradas:

1. as provenientes de esgotos domésticos do meio urbano – cidade e vilas -, por meio da rede de coleta de esgotos, lançados como fontes pontuais de poluição;
2. as provenientes do meio rural, geradas pela agropecuária – agricultura e criação de animais -, lançados como fontes difusas de poluição.

Quanto à poluição difusa da agricultura entende-se que ela será reduzida nas condições hidrológicas de estiagem, quando o principal fator de suas mobilizações e transporte – a chuva e as drenagens superficiais por ela gerada – seria nulo. No entanto, devem ser consideradas nas condições hidrológicas onde ocorrem chuvas. Portanto, duas situações foram consideradas: estiagem, em que a carga agrícola não foi considerada, e fora de estiagem, quando esta foi introduzida.

Quanto às cargas dos habitantes rurais, foi suposto que os sistemas de fossa/sumidouro seriam efetivos para eliminar o tipo considerado de carga poluente, não havendo necessidade de suas considerações, ainda mais frente à reduzida população rural da bacia e sua distribuição esparsa.

As cargas de poluição provenientes da indústria não foram consideradas. A justificativa para tanto, deve-se ao fato de que, conforme o Cadastro Nacional de Usuários de Água demonstra, a maioria das indústrias está localizada no tramo inferior dos corpos hídricos, próximos ou na parte em que as águas são salobras, com poucas exceções. Nessas regiões não há

garantias da coerência dos resultados obtidos com o modelo de simulação utilizado. Além disso, pode-se supor que as cargas que foram consideradas – orgânicas, bacteriológicas e nutrientes - são pequenas considerando as tipologias industriais da região. E, quando não forem, elas estariam incorporadas aos esgotos domésticos, via sistemas universais de coleta de esgotos.

Para estimar as cargas de poluentes devem ser consideradas as suas naturezas: pontuais e difusas, que demandarão abordagens distintas, conforme descrito em continuação.

#### 4.1.1 Fontes Pontuais: Esgoto Doméstico do Meio Urbano

As fontes pontuais são representadas por aqueles tipos de lançamento em que os poluentes atingem os corpos hídricos de forma concentrada no espaço. O exemplo mais clássico é o lançamento de esgoto doméstico proveniente das concentrações urbanas. Ainda que os lançamentos não ocorram totalmente de forma concentrada, considera-se que ocorre um único despejo contínuo resultante da vazão de retorno de cada imóvel. Aplicam-se coeficientes de redução de carga para que se possa aproximar da realidade, em que esta carga se depura naturalmente ao longo do transporte até o corpo hídrico simulado.

Primeiramente, foi feita uma avaliação das Estações de Tratamento de Efluentes existentes na Região Hidrográfica VIII. O distrito central de Macaé conta com o funcionamento de algumas ETE's próximas à orla, cujo somatório da vazão de operação é de aproximadamente 60 l/s. Em Rio das Ostras, existe a ETE Mariléia, operada pela empresa Foz do Brasil, cujo efluente tratado é lançado através de um emissário localizado a 3,6 km da costa. Além destas, também existem as ETE's dos distritos de Sana e de Glicério, que contam com instalações de menor porte para o atendimento da demanda local. O Quadro 4.1 apresenta a situação de cada distrito com relação à existência de ETE's, ou se há em desenvolvimento algum projeto de implantação, conforme relatório de 2008, da ESANE.

Quadro 4.1: Situação dos Distritos com Relação à Existência de Estações de Tratamento de Efluentes

Distrito	Localidade	Estação de Tratamento de Efluentes	Vazão de operação ETE (L/s)
Macaé	Macaé	Implantado	60
Rio das Ostras	Rio das Ostras	Implantado	-
Sana	Sana (Glória)	Implantado	2,78
Frade	Frade	Projeto	4
Glicério	Glicério	Implantado	5
	Óleo	Projeto	3
	Trapiche	Projeto	3
Cachoeiros de Macaé	Areia Branca	A ser projetado	0
	Bicuda Grande	A ser projetado	0
	Bicuda Pequena	A ser projetado	0
Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu	Não	0
São Pedro da Serra	São Pedro da Serra	Não	0
Lumiar	Lumiar	Não	0
Córrego do Ouro	Córrego do Ouro	Não	0

A partir dos dados de demandas e consumos hídricos apresentados nos itens anteriores, partiu-se para a definição dos valores de cargas geradas pelas vazões de lançamento. Aspecto importante a ser ressaltado é que o local de captação muitas vezes difere do local onde estão concentradas as principais aglomerações urbanas. A população, em sua maior parte, está concentrada numa pequena faixa litorânea, dificultando a alocação das cargas do esgoto doméstico, considerando o nível de escala deste trabalho. A Figura 4.1 apresenta uma proposta de alocação destes pontos, considerando a distribuição da população ao longo da região hidrográfica. Não se considerou o efeito da existência das ETE's fora da faixa litorânea, tendo em vista que a maior parte do esgoto na bacia é lançado *in natura*, e também pela dificuldade de se definir um percentual de remoção de poluentes no valor estimado de vazão de retorno.

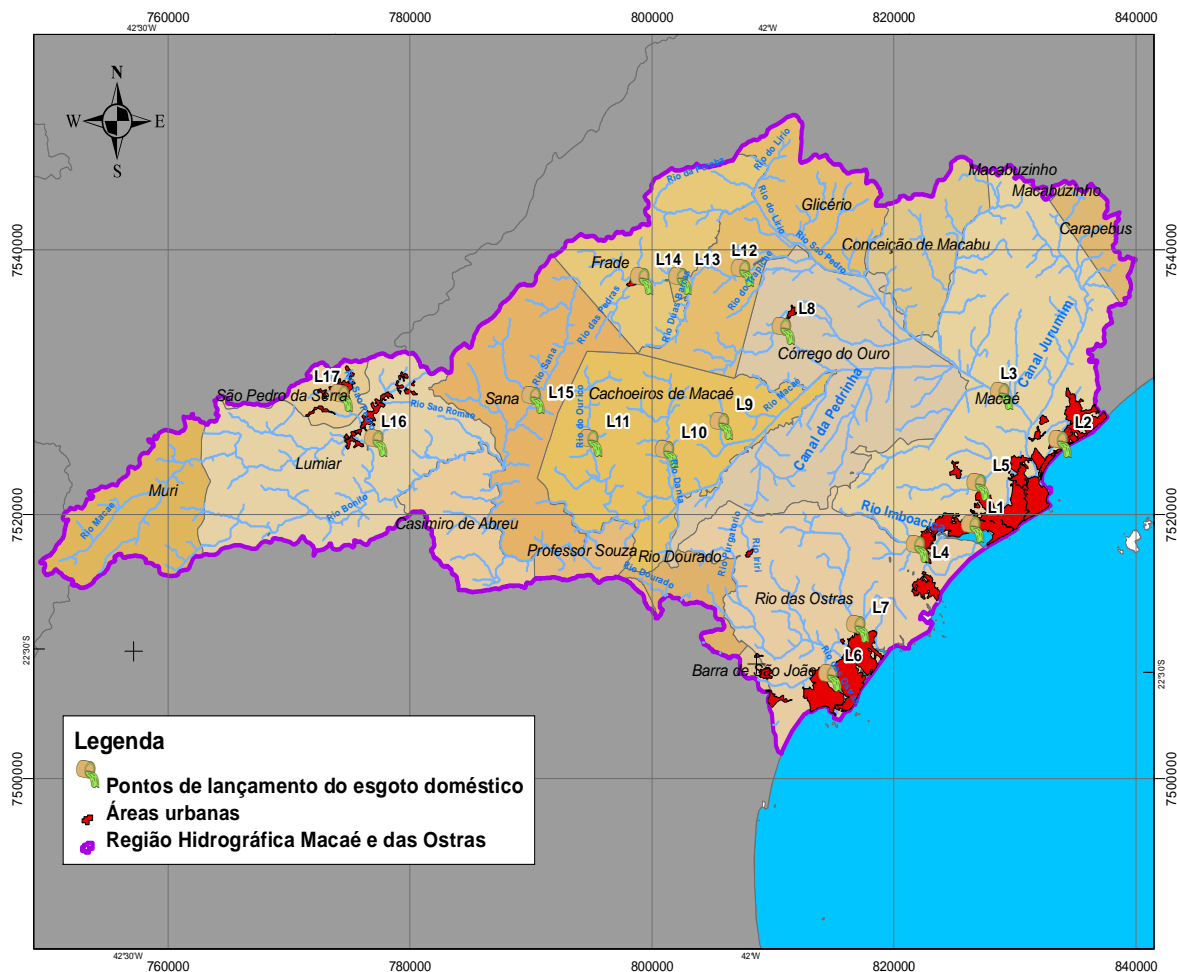


Figura 4.1: Localização dos pontos de lançamento dos efluentes do esgoto doméstico.

O critério de alocação dos lançamentos foi colocá-los junto das manchas de áreas urbanas identificadas, ou então no mesmo local da captação, no caso das sedes de pequenos distritos. No caso das cidades de Macaé e Rio das Ostras, alocou-se mais de um ponto, distribuindo-se as cargas ao longo da mancha de ocupação.

O Quadro 4.2 apresenta os valores estimados de demanda hídrica para a cena atual (2012), e as vazões de retorno para cada ponto de lançamento definido na figura anterior. Adotou-se um retorno de 80% do valor estimado de demanda, e no caso da existência de mais de um ponto de lançamento por distrito, as vazões de retorno foram distribuídas igualmente entre os pontos. Considerou-se que o município de Casimiro de Abreu, além das localidades de Conceição de Macabu, Macabuzinho, Barra de São João e Mury, não possuem nenhum ponto de lançamento de efluente urbano dentro dos limites da região hidrográfica.



Quadro 4.2: Compatibilização entre os Valores Estimados de Demanda e os Retornos em cada Ponto de Lançamento

Ponto	Localidade	Distrito	Demanda - estimativa (l/s)	Retorno (l/s)	Q lançada no ponto (l/s)
L1	Macaé	Macaé	1010,83	808,66	161,73
L2	Macaé				161,73
L3	Macaé				161,73
L4	Macaé				161,73
L5	Macaé				161,73
L6	Rio das Ostras	Rio das Ostras	578,65	462,92	231,46
L7	Rio das Ostras				231,46
L8	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro	15,41	12,33	12,33
L9	Areia Branca	Cachoeiros do Macaé	0,48	0,384	0,13
L10	Bicuda Grande				0,13
L11	Bicuda Pequena				0,13
L12	Trapiche	Glicério	13,05	10,44	5,22
L13	Glicério				5,22
L14	Frade	Frade	3,80	3,04	3,04
L15	Sana	Sana	5,00	4	4,00
L16	Lumiar	Lumiar	4,84	3,87	3,87
L17	São Pedro da Serra	São Pedro da Serra	3,49	2,79	2,79
Distritos com captações na RH VIII, mas com seus lançamentos de esgotos (retorno) fora das bacias		Casimiro de Abreu	74,19	0	0,00
		Professor Souza	5,81	0	0,00
		Rio Dourado	4,78	0	0,00
		Conceição de Macabu	76,51	0	0,00
		Macabuzinho	0,56	0	0,00
		Barra de São João	42,70	0	0,00
<b>TOTAIS</b>			<b>1.840</b>	<b>1.308</b>	<b>1.308</b>

A etapa seguinte foi a definição das concentrações dos principais parâmetros de qualidade em todos os pontos de lançamento dos esgotos domésticos. O censo do IBGE de 2010 apresenta dados relativos à população distribuída conforme o tipo de esgotamento que ocorre em cada domicílio. O Quadro 4.3 apresenta o percentual da população dos municípios da RH VIII que é atendida por rede, fossa séptica e sumidouros, outros, além daqueles domicílios que não apresentavam banheiro. Esta definição é importante para estimativa dos percentuais de abatimento de carga, de acordo com o tipo de lançamento realizado em cada domicílio.

Os coeficientes técnicos de redução de carga orgânica aplicados, medida pela Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias a 20° C – DBO, relacionados ao tipo de tratamento / afastamento dos efluentes apresentados pelo IBGE, constam no Quadro 4.4. Também, foram consultados os dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) a fim de verificar a existência de algum tipo de tratamento do esgoto coletado; nenhuma informação foi encontrada. Também não há informações com relação ao tipo de esgotamento em cada distrito, que pode diferir bastante do que ocorre nas sedes municipais. Na falta de informações, adotou-se um fator de redução único de 60%, baseado nos percentuais apresentados no Quadro 4.3 e nos fatores de redução do Quadro 4.4.

Quadro 4.3: Tipo de Esgotamento Sanitário nos Municípios da RH VIII

Município	Tipo de esgotamento sanitário			Não tinham banheiro nem sanitário
	Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Outro	
Casimiro de Abreu	31,77%	50,21%	18,02%	0,18%
Macaé	68,79%	15,28%	15,93%	0,07%
Nova Friburgo	72,86%	14,65%	12,49%	0,03%
Rio das Ostras	29,66%	57,81%	12,54%	0,07%

IBGE, Censo 2010.

Quadro 4.4: Fatores de Redução de Carga Orgânica

Parâmetro	Classes	Fator de redução	Classes de tratamento/ afastamento consideradas (IBGE)
DBO	Populações ligadas à rede geral (canalizações mistas)	0,5	rede geral de esgoto ou pluvial
			rio, lago ou mar
			outro escoadouro
	Populações atendidas por fossa séptica (sistema decantação/ infiltração)	0,85	fossa séptica
			fossa rudimentar
			Vala
			sem banheiro / sanitário

Fonte: FEPAM/FAURGS (2003)

CHAPRA (1997) apresenta valores de concentração de coliformes termotolerantes em esgotos domésticos no entorno de  $1 \cdot 10^6$  NMP/100ml. Os valores das concentrações brutas e das concentrações adotadas no modelo estão apresentados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5: Valores das Cargas Presentes no Esgoto Doméstico dos Parâmetros a serem Simulados no Modelo

Parâmetro	Carga por pessoa (g/hab.dia) <sup>(1)</sup>	Concentração - esgoto bruto gerado (mg/L)	Concentração esgoto lançado (mg/L)
DBO	54	337,5	135
Fósforo total	1	13,5	5,4
Nitratos	8	50	20
Coliformes termotolerantes*	-	1.000.000	400.000

\*Concentração em NMP/100mL

Nota: como explicado acima, foi adotada uma redução de 60% da carga entre o esgoto bruto gerado e o esgoto lançado.

Fonte: VON SPERLING (2006) e CHAPRA (1997)

As cargas de poluentes assim estimadas são apresentadas no Quadro 4.6.

Quadro 4.6: Cargas Poluentes Lançadas pelos Esgotos Domésticos Urbanos

Ponto	Localidade	Distrito	Re- torno	Q lançada no ponto	DBO	Nitratos	Fósforo total	Coliformes ter- motolerantes
			(l/s)	kg/dia				$10^6$ NMP/dia
L1	Macaé	Macaé	808,66	161,73	1.886	279	75,5	5.589.389
L2	Macaé			161,73	1.886	279	75,5	5.589.389
L3	Macaé			161,73	1.886	279	75,5	5.589.389
L4	Macaé			161,73	1.886	279	75,5	5.589.389
L5	Macaé			161,73	1.886	279	75,5	5.589.389
L6	Rio Ostras	Rio das Ostras	462,92	231,46	2.700	400	108	7.999.258
L7	Rio Ostras			231,46	2.700	400	108	7.999.258

Ponto	Localidade	Distrito	Re- torno	Q lançada no ponto	DBO	Nitratos	Fósforo total	Coliformes ter- motolerantes
			(l/s)	(l/s)				
L8	Córrego Ouro	Córrego Ouro	12,33	12,33	144	21,3	5,75	426.125
L9	Areia Branca	Cachoeiros do Macaé	0,384	0,13	1,52	0,225	0,0607	4.493
L10	Bicuda Gde			0,13	1,52	0,225	0,0607	4.493
L11	Bicuda Pqna			0,13	1,52	0,225	0,0607	4.493
L12	Trapiche	Glicério	10,44	5,22	60,9	9,02	2,44	180.403
L13	Glicério			5,22	60,9	9,02	2,44	180.403
L14	Frade	Frade	3,04	3,04	35,5	5,25	1,42	105.062
L15	Sana	Sana	4	4	46,7	6,91	1,87	138.240
L16	Lumiar	Lumiar	3,87	3,87	45,1	6,69	1,81	133.747
L17	S. Pedro Serra	S. Pedro Serra	2,79	2,79	32,5	4,82	1,30	96.422
TOTAIS			1.308	1.308	15.262	2.261	610	45.219.341

#### 4.1.2 Fontes Difusas: Criação Animal

Nas fontes difusas de poluição, os poluentes aportam à rede de drenagem de forma distribuída, ao longo de sua extensão, ao contrário do que ocorre com as fontes pontuais. Na simulação serão consideradas somente as cargas provenientes da criação animal. As cargas totais potenciais foram estimadas em função de cargas unitárias adotadas para cada parâmetro e rebanho (Quadro 4.7), e do efetivo animal existente na RH VIII, cuja estimativa de número cabeças está apresentada no RD05, conforme pode ser observado no Quadro 4.8.

Quadro 4.7: Cargas Unitárias Adotadas para os Rebanhos da RH VIII

Rebanho	DBO	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Coliformes Fecais
	(kg/dia/cabeça)	(kg/dia/cabeça)	(kg/dia/cabeça)	(10 <sup>6</sup> /dia/cabeça)
Bovino	0,73	0,178	0,043	5400
Equino	0,77	0,136	0,032	5700
Suíno	0,46	0,236	0,082	8900
Aves	0,02	0,0011	0,0003	240

Fonte:

Quadro 4.8: Efetivo Animal Estimado para o Ano de 2012 na RH VIII

Município	Bovinos	Equinos	Suínos	Aves	Total
Carapebus	10.265	248	315	6.539	17.367
Casimiro de Abreu	8.089	552	552	2.224	12.000
Conceição de Macabu	15.864	183	99	2.382	18.528
Macaé	87.573	2.195	1.436	5.344	96.820
Nova Friburgo	4.891	701	4.413	7.578	17.583
Rio das Ostras	27.121	504	742	3.593	32.172
Total	153.803	4.383	7.556	27.660	194.471

A carga total potencial originária da criação de animais pode ser observada no Quadro 4.9. Sobre a carga potencial aplicou-se um coeficiente de redução variável conforme o ajuste com os pontos de monitoramento para o cenário de vazões médias (Q50%), e sendo considerado com uma redução de 100% para cenários de vazões mínimas. Justifica-se isto por que apenas uma pequena parcela da carga gerada irá efetivamente chegar aos cursos de água nestas condições, devido à precipitação ser bastante reduzida. A carga que efetivamente chega os cursos de água é a carga remanescente.

Quadro 4.9: Carga Total Potencial e Remanescente de Origem Animal na RH VIII (Cenário de Vazões Médias)

Parâmetro	Carga Total Potencial	Redução da Carga	Carga Total Remanescente
DBO (kg/dia)	119.680	0%	119.680
Nitrogênio Total (kg/dia)	29.787	0%	29.787
Fósforo Total (kg/dia)	7.382	0%	7.382
Coliformes Fecais (10 <sup>6</sup> /dia)	9,29. 10 <sup>8</sup>	50%	4,65. 10 <sup>7</sup>

Em termos de valores municipais, as cargas remanescentes lançadas nos corpos de água são as apresentadas no Quadro 4.10.

Quadro 4.10: Cargas Poluentes da Criação de Animais na RH VIII em 2012

Município	DBO (kg/dia)	Nitrogênio Total (kg/dia)	Fósforo Total (kg/dia)	Coliformes fecais (10 <sup>6</sup> NMP/dia)
Carapebus	7.960	1.895	477	3,06
Casimiro de Abreu	6.628	1.565	411	2,61
Conceição de Macabu	11.815	2.860	697	4,41
Macaé	66.386	16.016	3.955	24,97
Nova Friburgo	6.292	1.354	597	3,58
Rio das Ostras	20.600	4.964	1.244	7,84
Total	119.681	28.653	7.382	46,47

### 4.1.3 Fontes Difusas: Cargas da Atividade Agrícola

As cargas de nitrogênio e fósforo foram estimadas em função da área agrícola e das pastagens em área de várzea. Estas áreas foram obtidas através do mapeamento do uso e ocupação do solo da RH VIII apresentado no RD03 e podem ser observada no Quadro 4.11.

Quadro 4.11: Área Agrícola e de Pastagem em Várzea da RH VIII

Distrito	Agricultura (ha)	Pastagem em várzea (ha)
Barra de São João	12,02	20,47
Cachoeiros de Macaé	18,19	2667,01
Carapebus	201,87	0,00
Casimiro de Abreu	244,94	0,00
Conceição de Macabu	61,41	730,83
Córrego do Ouro	20,58	4257,81
Frade	58,47	47,65
Glicério	19,26	1342,50
Lumiar	538,48	0,00
Macabuzinho	0,00	0,00
Macaé	100,78	3310,35
Muri	17,12	0,00
Professor Souza	0,00	163,94
Rio das Ostras	14,27	825,96
Rio Dourado	0,00	4,95
Sana	109,57	54,73
São Pedro da Serra	26,86	0,00
<b>Total</b>	<b>14,4382</b>	<b>134,2620</b>

No Quadro 4.12 apresenta-se a carga unitária (kg/ano/ha) de nitrogênio e fósforo total adotada para a estimativa das cargas potenciais devido às atividades agrícolas da RH VIII.

Quadro 4.12: Carga Unitária Adotada para as Atividades Agrícolas.

Uso do Solo	Nitrogênio Total (kg/ano/ha)	Fósforo Total (kg/ano/ha)
Agricultura	28,1	70,1
Pastagem em Várzea	14,05	35,05

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul.

Com relação ao nitrogênio, dentro do ciclo deste elemento na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação, podendo ser encontrado no meio aquático sob a forma de nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), nitrogênio molecular ( $N_2$ , escapando para atmosfera), amônia (livre  $NH_3$  e ionizada  $NH_4^+$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) (VON SPERLING, 2007). Desse modo, é preciso fazer uma diferenciação entre as formas de nitrogênio que estão sendo carregadas aos corpos hídricos, sendo adotada uma proporção de 75% de nitratos e 25% de amônia, obtida através da simulação e calibração com os dados observados. O Fósforo Total foi reduzido em 40% da sua carga original, em função também da calibração. O Quadro 4.13 apresenta os valores de carga inseridos nas áreas delimitadas pela atividade agrícola. Os resultados finais, colecionados por municípios, são apresentados no Quadro 4.14.

Quadro 4.13: Valores das Cargas de N e P Utilizados nas Classes de Agricultura

Uso do Solo	Carga Total Potencial (kg/ano)		Carga Total Remanescente (kg/ano)		
	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Nitratos	Amônia	Fósforo Total
Agricultura	9.414	23.484	7.060	2.353	14.090
Pastagem em Várzea	191.670	478.152	143.753	47.918	286.891
Total	201.084	501.636	150.813	50.271	300.981

Quadro 4.14: Cargas Poluentes da Criação de Animais na RH VIII em 2012

Distrito	Carga total potencial (kg/ano)		Carga total remanescente (kg/ano)		
	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Nitratos	Amônia	Fósforo Total
Barra de São João	625	1.560	469	156	936
Cachoeiros de Macaé	37.983	94.754	28.487	9.496	56.852
Carapebus	5.673	14.151	4.254	1.418	8.491
Casimiro de Abreu	6.883	17.170	5.162	1.721	10.302
Conceição de Macabu	11.994	29.921	8.995	2.998	17.952
Córrego do Ouro	60.401	150.679	45.300	15.100	90.408
Frade	2.312	5.769	1.734	578	3.461
Glicério	19.403	48.405	14.552	4.851	29.043
Lumiar	15.131	37.747	11.348	3.783	22.648
Macabuzinho	0	0	0	0	0
Macaé	49.342	123.093	37.007	12.336	73.856
Muri	481	1.200	361	120	720
Professor Souza	2.303	5.746	1.728	576	3.448
Rio das Ostras	12.006	29.950	9.004	3.001	17.970

Distrito	Carga total potencial (kg/ano)		Carga total remanescente (kg/ano)		
	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Nitratos	Amônia	Fósforo Total
Rio Dourado	69	173	52	17	104
Sana	3.848	9.599	2.886	962	5.759
São Pedro da Serra	755	1.883	566	189	1.130
<b>Total</b>	<b>229.210</b>	<b>571.800</b>	<b>171.907</b>	<b>57.302</b>	<b>343.080</b>

## 4.2 Calibração do Modelo

A calibração dos parâmetros do modelo de qualidade de água, cujos detalhes são mais bem explicados nos anexos, envolve a consideração dos valores dos parâmetros de acordo com aproximações descritas na literatura, como também a comparação dos resultados da simulação com os resultados do monitoramento. Ambas as abordagens são a seguir consideradas.

### 4.2.1 Campanhas de Monitoramento

A localização dos postos de monitoramento utilizados nas campanhas de qualidade da água na região hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras realizadas para o desenvolvimento do Plano está apresentada na Figura 4.2.

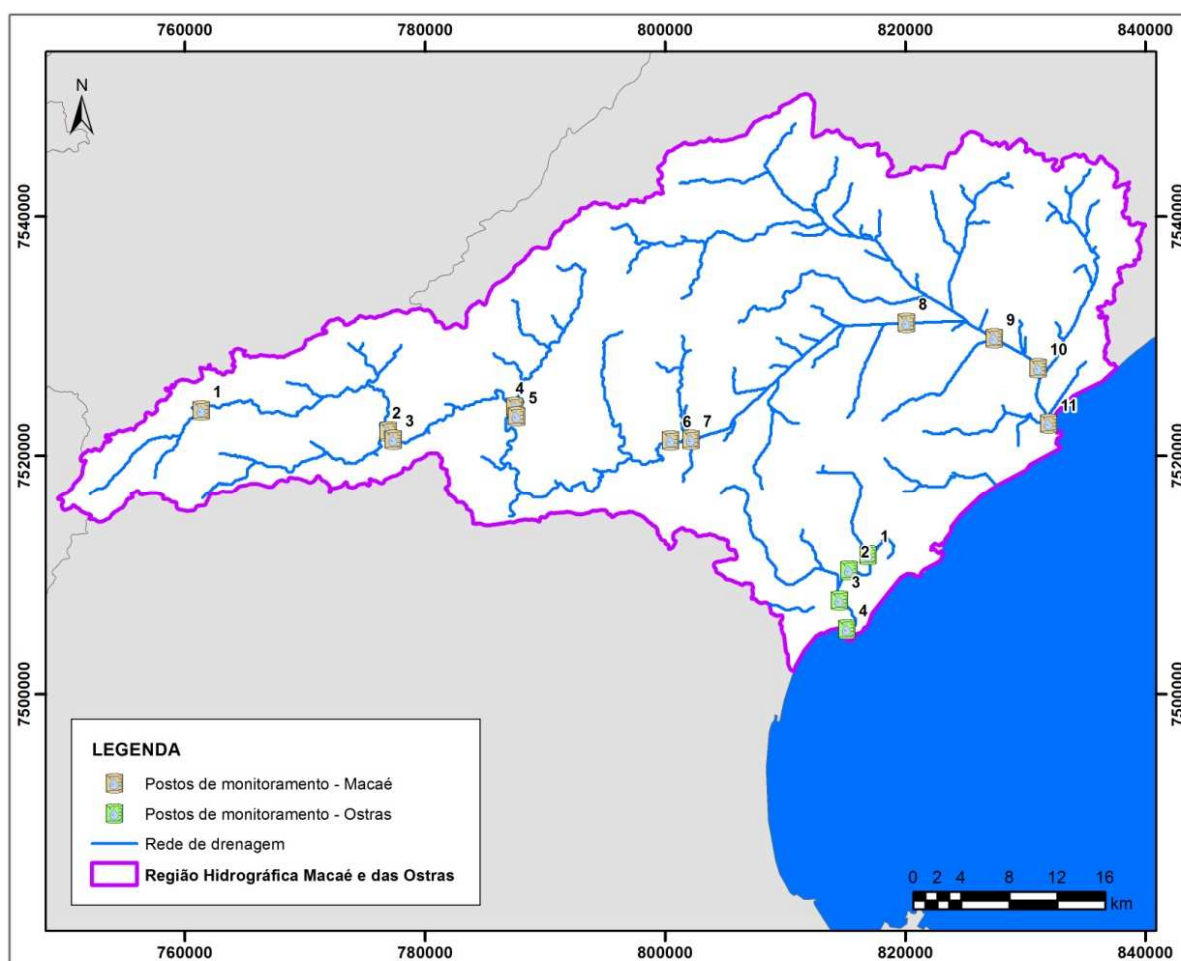


Figura 4.2: Localização dos Postos de Monitoramento de Qualidade da Água na RH VIII

A segunda campanha de monitoramento, realizada em águas baixas, acha-se na situação que interessa à avaliação de qualidade de água, em que as vazões reduzidas induzem a uma maior concentração de poluentes.

Na Figura 4.3 são apresentadas as vazões medidas nos pontos de monitoramento e as vazões características de estiagem  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  estimadas para cada seção. Verifica-se que as vazões medidas estão mais próximas às vazões  $Q_{95\%}$ , sendo até inferiores nas seções mais a jusante.

A primeira e a terceira campanha de monitoramento, realizadas em águas altas, foram consideradas para avaliar a influência das cargas de poluentes decorrentes de atividades agrícolas e de criação animal, que neste caso, podem causar impactos significativos, em decorrência da “lavagem do solo” que as chuvas propiciam.

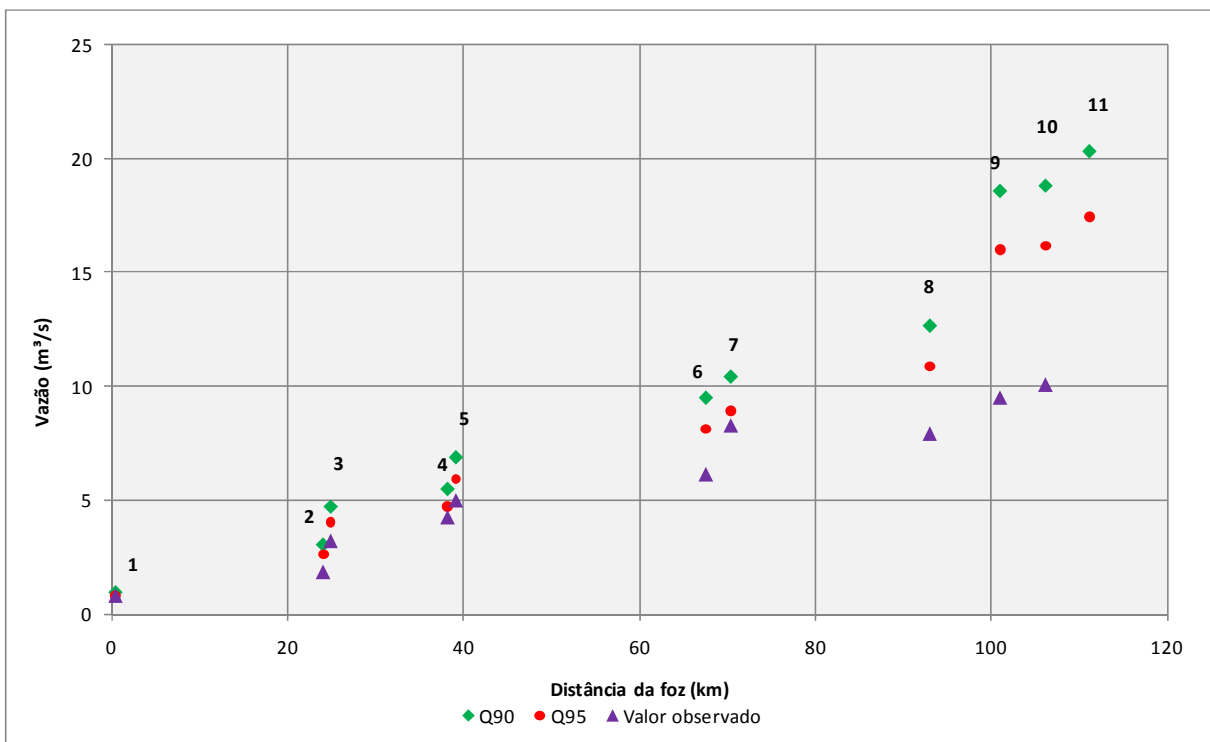


Figura 4.3: Vazões Medidas e Características de Estiagem nas Seções de Monitoramento do Rio Macaé

#### 4.2.2 Estimativa dos Parâmetros do Modelo

Os valores dos parâmetros de reação dos poluentes simulados foram obtidos na bibliografia especializada e também por ajustes considerando os dados de monitoramento. Os valores do decaimento para alguns poluentes foram estimados trecho a trecho considerando as características físicas do local, como a velocidade, profundidade e largura do trecho. A Figura 4.4 apresenta a variação dos valores dos coeficientes de decaimento ( $k_d$ ) e de sedimentação da matéria orgânica ( $k_s$ ).

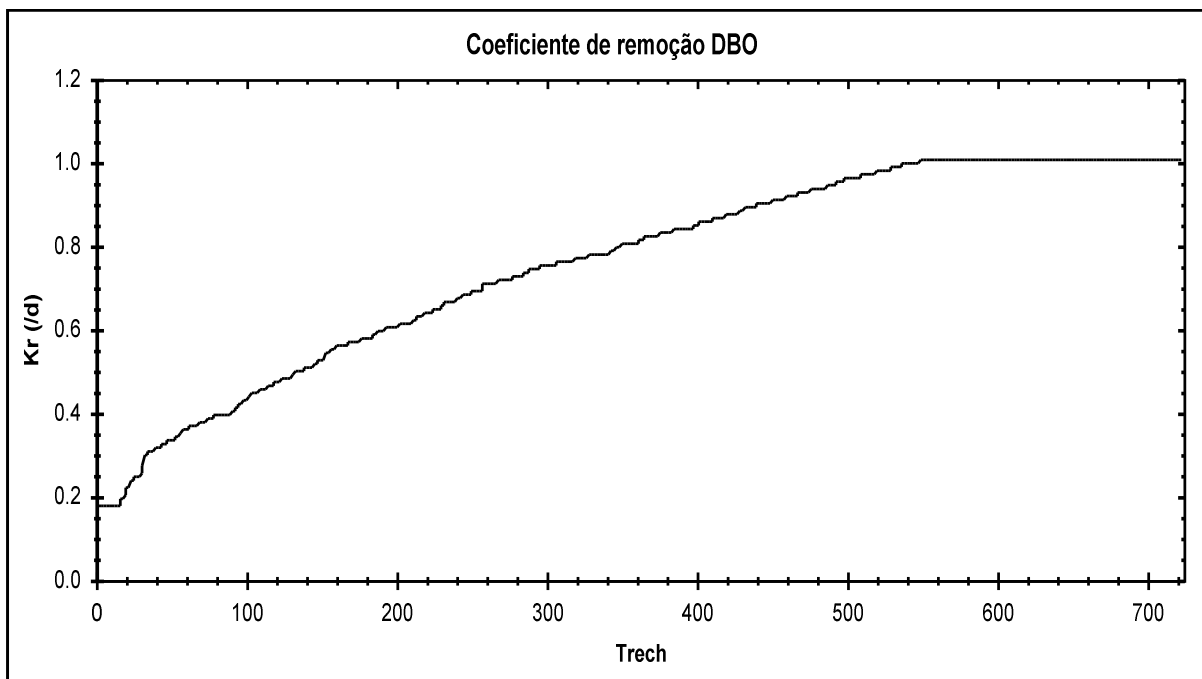


Figura 4.4: Estimativa do Decaimento e Sedimentação da Matéria Orgânica em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem

O valor do parâmetro  $k_d$  foi estimado para cada trecho através de uma relação com a profundidade apresentada por CHAPRA (1997):

$$k_d = 0.3 \left( \frac{H}{2.4} \right)^{-0.434}$$

A taxa de sedimentação  $k_{sd}$  por trecho, indicando o valor da velocidade de sedimentação da matéria orgânica, é obtida pela seguinte relação:

$$k_{sd} = \left( \frac{v_{s, mo}}{H} \right)$$

Os valores de reaeração  $k_a$  estão apresentados na Figura 4.5, estimados utilizando a relação apresentada por LARENTIS (2004), que relaciona a reaeração com a declividade do canal, de acordo com a equação:

$$k_a = \frac{\text{declividade (m/m)}}{100}$$



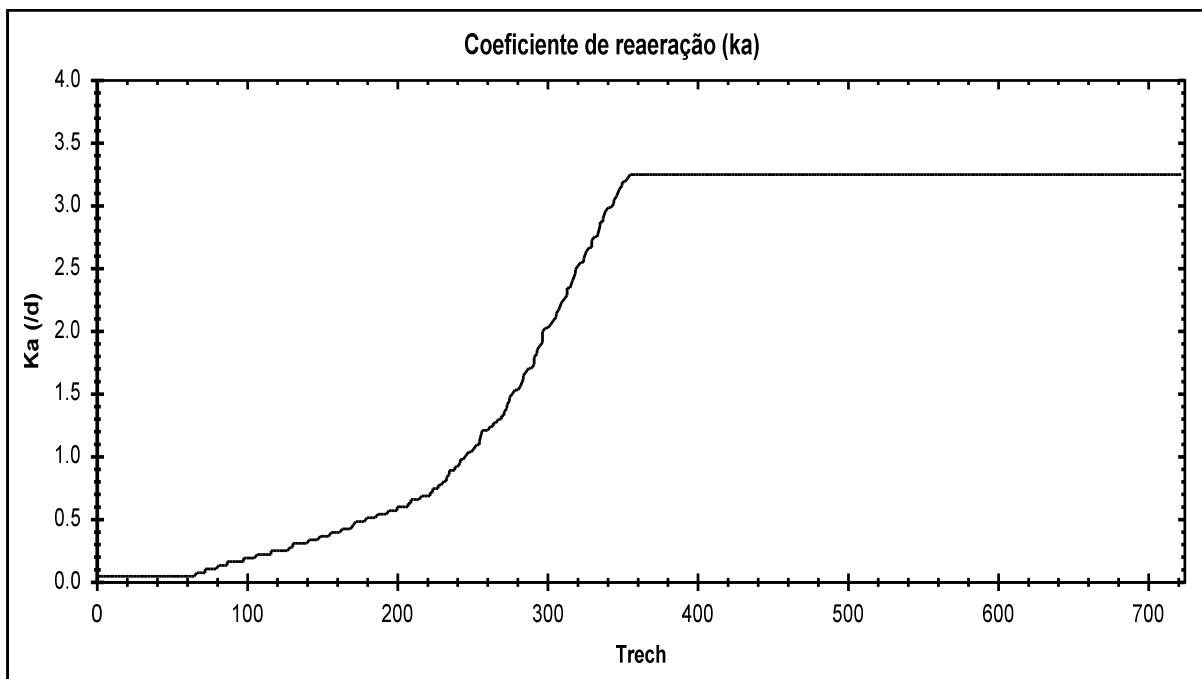


Figura 4.5: Estimativa do Coeficiente de Reeração em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem

As taxas de transformação da concentração de coliformes fecais em rios consideradas no modelo são as taxas de mortalidade e de sedimentação. A mortalidade está relacionada a diversos fatores, como a temperatura, radiação solar na superfície da água, concentração de sólidos suspensos e profundidade, os quais segundo CHAPRA (1998) podem ser relacionados da seguinte forma:

$$k_m = k_{dx} + \frac{I/24}{k_e H} (1 - e^{-k_e H})$$

Onde:  $k_{dx}$  representa a taxa de mortalidade em função da temperatura, considerado igual a  $0.8 \text{ d}^{-1}$ ,  $I$  é referente à radiação solar e  $k_e$  é um coeficiente de extinção, que é função da quantidade de material particulado na água, considerado igual a  $0,55 \text{ m}^{-1}$ , segundo CHAPRA (1997). Dessa forma, a equação fica dependendo apenas da taxa de radiação e da profundidade, sendo que a primeira é informada pelo usuário e a segunda consta no banco de dados da bacia.

A taxa de sedimentação dos coliformes é estimada relacionando a velocidade de sedimentação dos mesmos com a velocidade do fluxo hídrico, estabelecendo-se um coeficiente de sedimentação ( $k_{scol}$ ) da mesma forma aplicado no caso da sedimentação da matéria orgânica. Os valores finais da taxa de transformação dos coliformes estão apresentados na Figura 4.6.

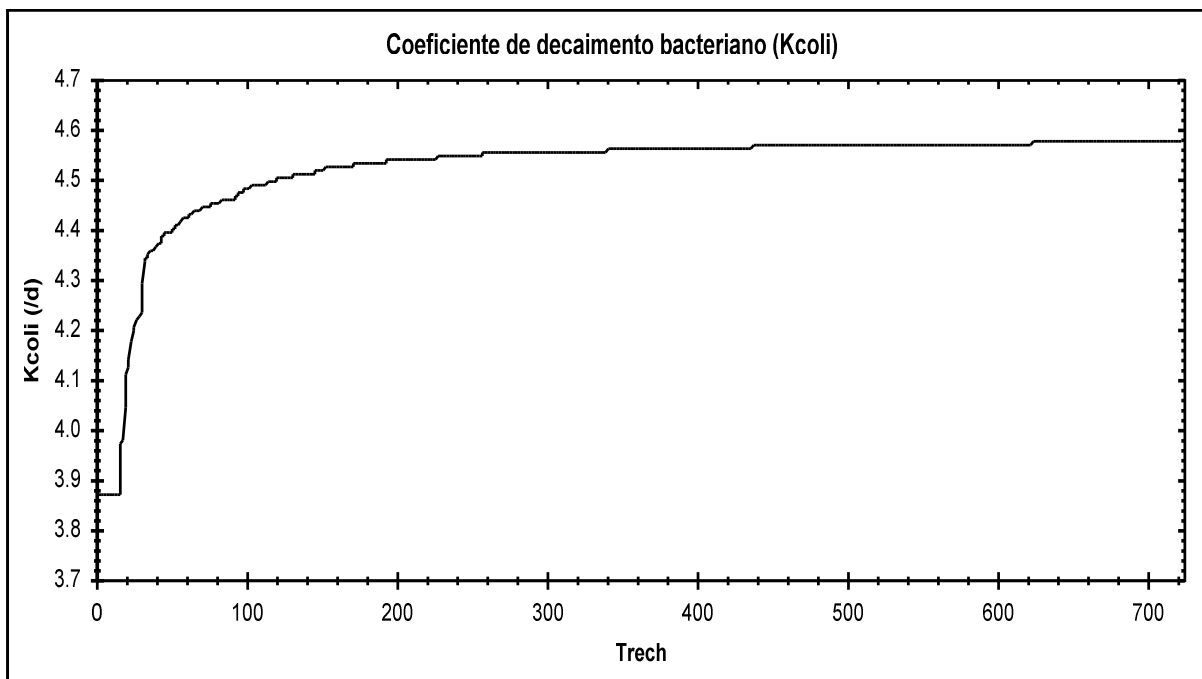


Figura 4.6: Estimativa da Taxa de Coliformes em Todos os Segmentos da Rede de Drenagem

Uma simplificação foi adotada ao se considerar a existência somente do Fósforo Total no modelo, englobando as categorias de Fósforo Orgânico e Inorgânico. Foi estimado um valor único para o coeficiente do fósforo, baseado em CHAPRA (1997), e posteriormente ajustado na calibração, sendo igual a  $0,4 \text{ dia}^{-1}$ .

O ciclo do nitrogênio em águas fluentes pode ser descrito por uma série de reações de transformação, como o Nitrogênio Orgânico em Amoniacoal, sendo a taxa de amonificação representada por  $k_{oa}$ . A nitrificação representa a oxidação da amônia a nitrito e nitrito a nitrato pela ação de um grupo de bactérias aeróbias. O coeficiente  $k_{ai}$  representa a taxa de transformação de amônia em nitrito e  $k_{in}$  representa a transformação de nitrito em nitrato. CHAPRA (1997) apresenta valores de  $k_{oa}$ ,  $k_{ai}$  e  $k_{in}$ , iguais a 0,5, 0,25 e 0,65, respectivamente.

### 4.3 Resultados da Calibração em Condições de Estiagem

A Figura 4.7 até a Figura 4.12 apresentam perfis de concentrações ao longo do rio Macaé, desde sua nascente até a foz, na cena atual (2012), para vazões de estiagem  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ , considerando os parâmetros DBO, oxigênio dissolvido, fósforo total, coliformes termotolerantes, nitrato e amônia, juntamente com os valores de monitoramento. No caso da DBO, os valores de monitoramento ficaram no limite de detecção do aparelho:  $2 \text{ mg/l}$ . As fontes consideradas de poluição foram somente os esgotos domésticos urbanos, acatando-se a hipótese de que em condições de estiagem não haveria influência de cargas difusas e que a poluição industrial estaria incluída nos esgotos domésticos urbanos.

Os valores de monitoramento são indicativos, tendo sido usados na calibração, para que os valores simulados ficassem em seu entorno. Isto, pois as vazões ocorridas durante as duas campanhas de monitoramento não corresponderam aquelas que foram adotadas nas simulações.

Julgou-se pelos resultados, e considerando as limitações das informações para a estimativa das cargas de poluentes e dos coeficientes do modelo, que o modelo retrata razoavelmente a realidade da bacia, podendo ser usado com a precisão demandada em um estudo de planejamento, como este do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras.

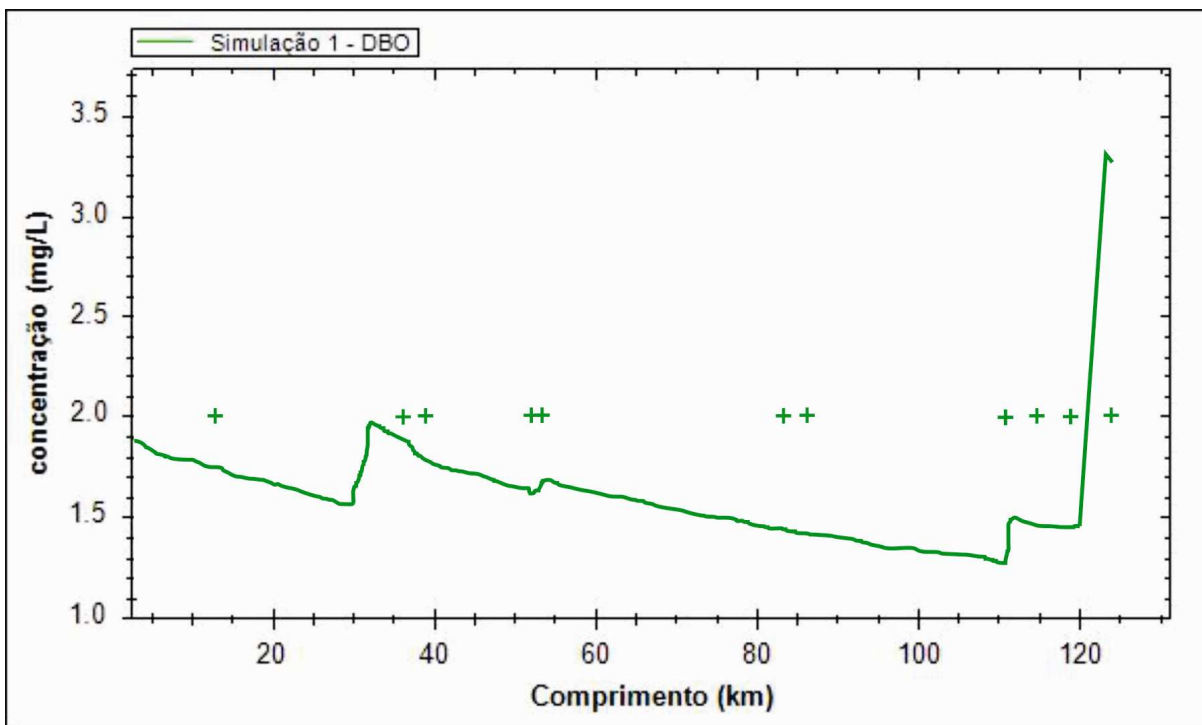


Figura 4.7: Perfil Longitudinal de Concentrações de DBO no Rio Macaé, Cena 2012, e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

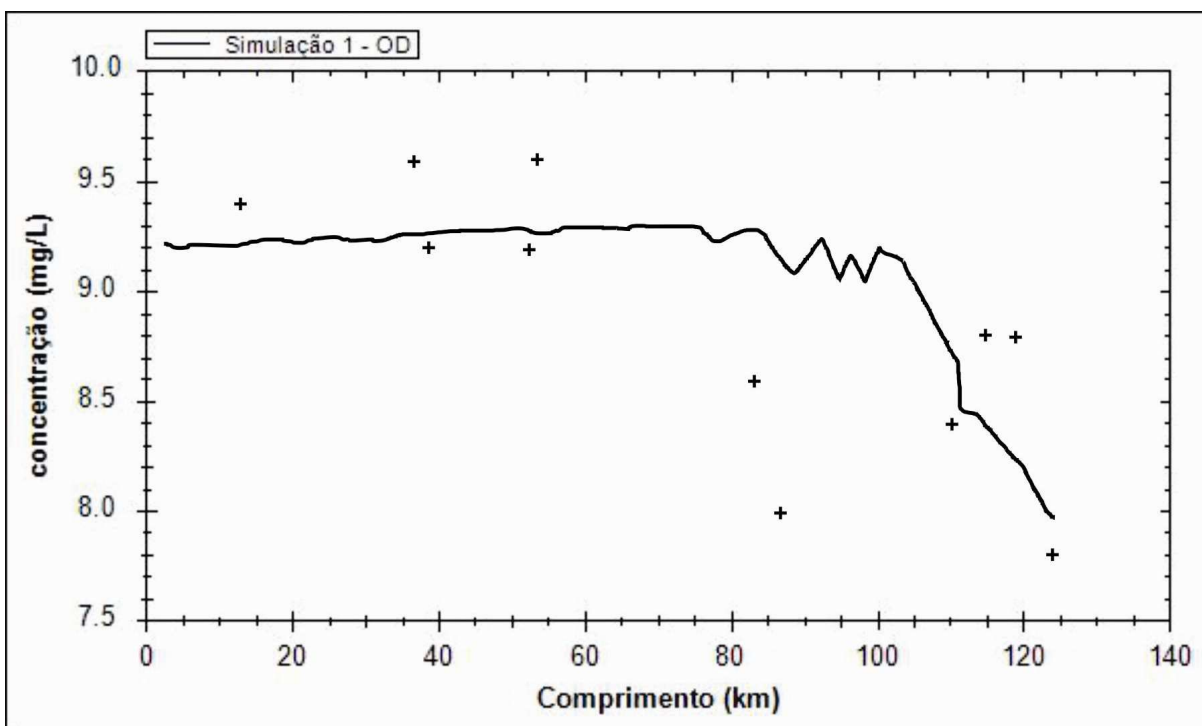


Figura 4.8: Perfil Longitudinal de Concentrações de Oxigênio Dissolvido no Rio Macaé, Cena 2012, e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

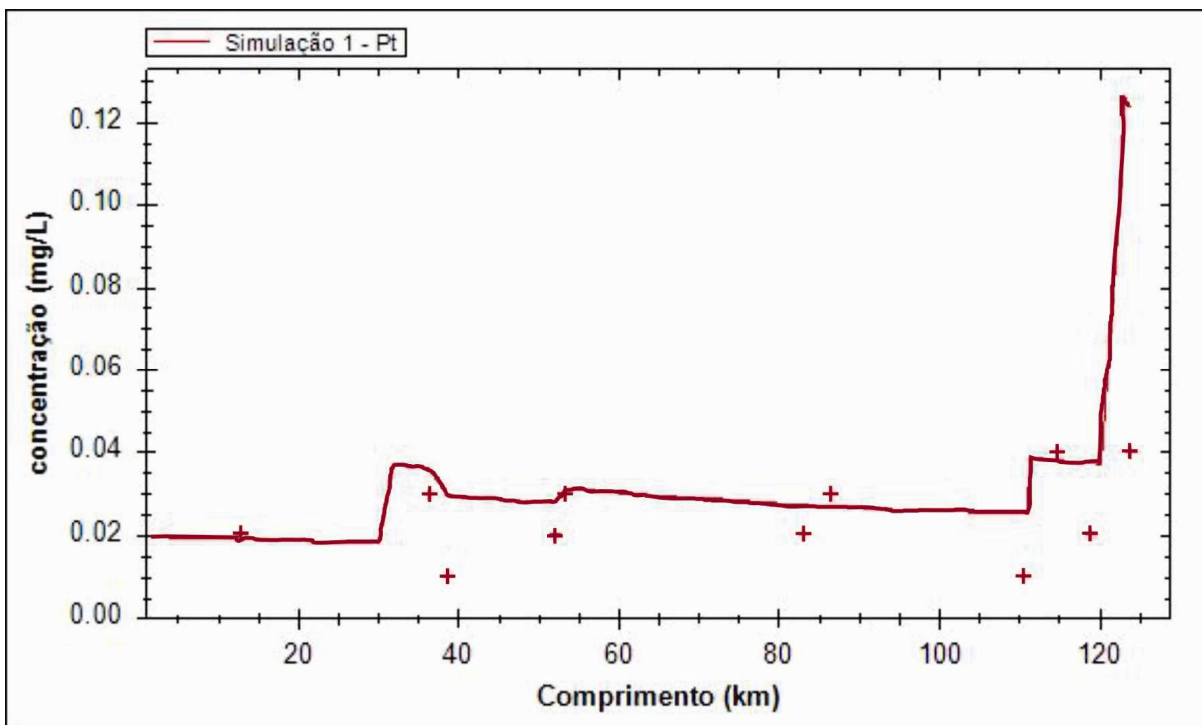


Figura 4.9: Perfil Longitudinal de Concentrações de Fósforo Total no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

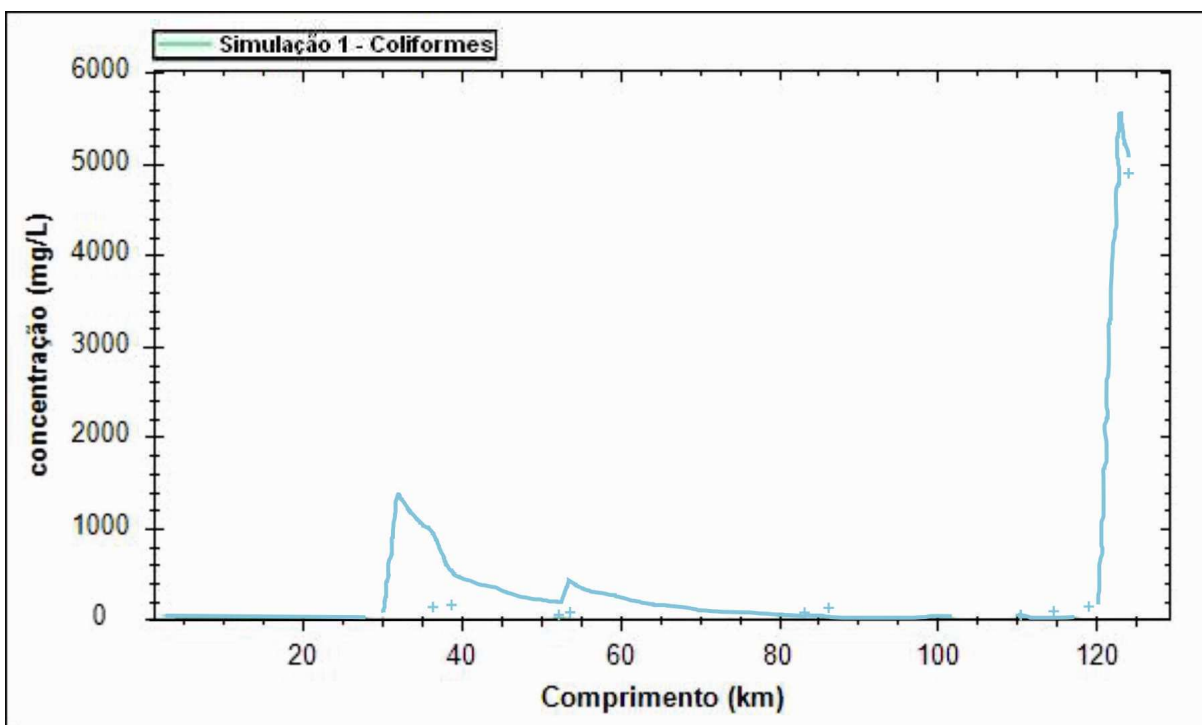


Figura 4.10: Perfil Longitudinal de Concentrações de Coliformes Termotolerantes no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

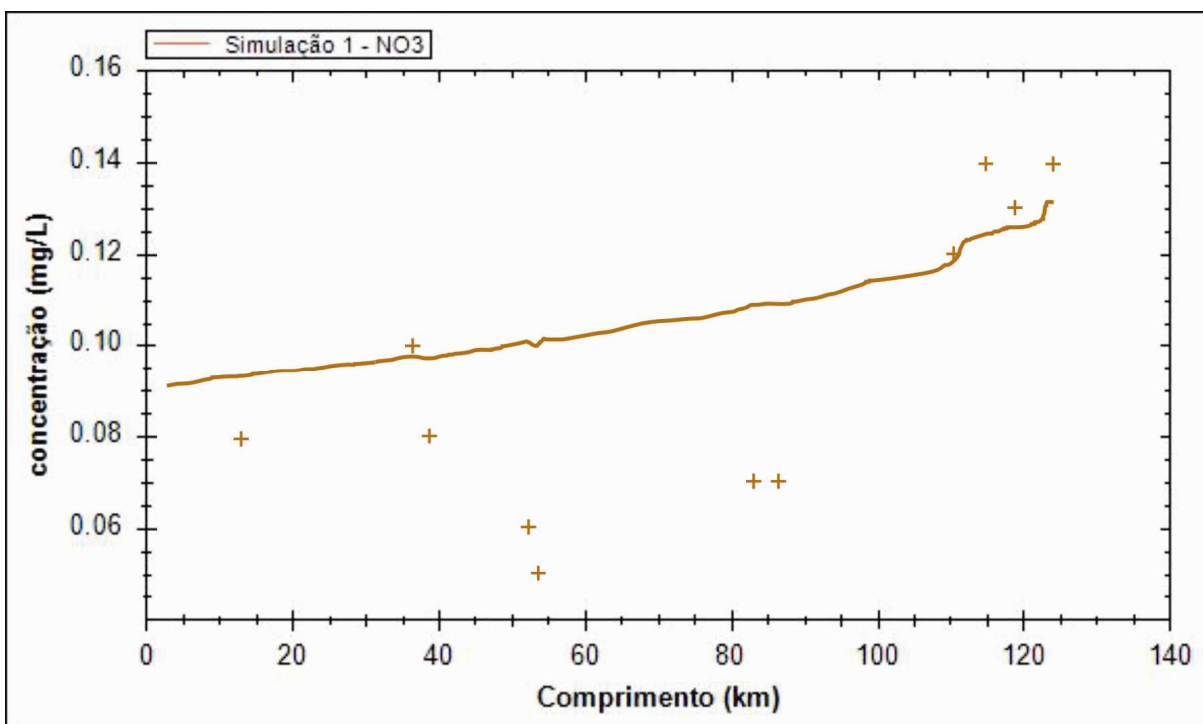


Figura 4.11: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrato no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

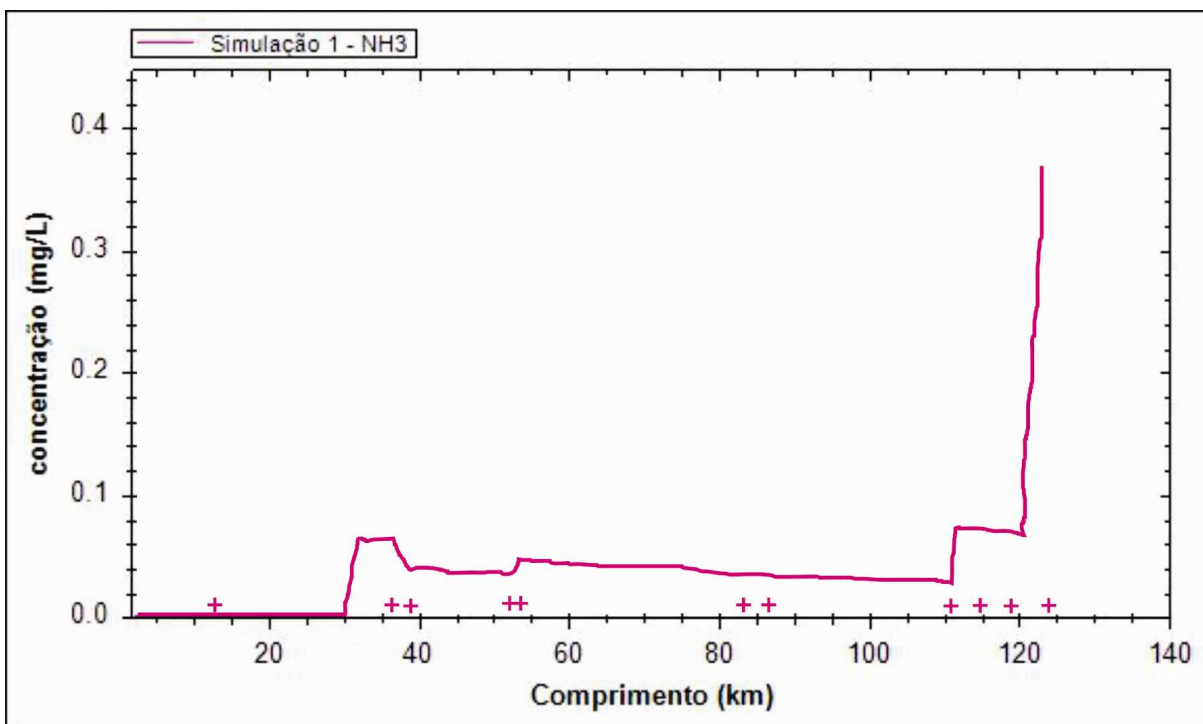


Figura 4.12: Perfil Longitudinal de Concentrações de Amônia no Rio Macaé, Cena 2012 e Diferentes Vazões de Estiagem e na Campanha de Monitoramento 2 (C2)

#### 4.4 Resultados da Calibração em Condições de Vazões Medianas

Nestas condições, como foi previamente comentado, a poluição oriunda da criação animal e da produção agrícola é mobilizada pelas chuvas e pequenos córregos, e atinge os corpos principais de água, agregando principalmente nutrientes, como fósforo e nitrogênio. Nas calibrações para esta situação foram consideradas as campanhas de monitoramento 1 e 3, realizadas com águas mais altas, e as simulações adotaram as vazões com 50% de permanência. As cargas utilizadas como dados de entrada neste cenário são tanto as de origem pontual como também as difusas.

A Figura 4.13 até a Figura 4.18 apresentam perfis de concentrações ao longo do rio Macaé, desde sua nascente até a foz, na cena atual (2012), para vazões com 50% de permanência, considerando os parâmetros DBO, fósforo total, coliformes termotolerantes, nitratos e amônia, juntamente com os valores de monitoramento.

Novamente, o ajuste para o parâmetro DBO ficou prejudicado devido ao valor mínimo detectado pelo instrumento medição, ficando a concentração sempre abaixo deste nível. Contudo, de acordo com a Figura 4.13 pode-se observar o grande aporte de cargas orgânicas ocasionado após a confluência com o rio Sana, entre 40 e 60 km do perfil longitudinal.

A Figura 4.16 e Figura 4.17 apresentam os perfis longitudinais de concentrações de Nitrogênio Amoniacal e Nitrato ao longo do rio Macaé. As contribuições das atividades agrícolas são menos expressivas quando comparadas às contribuições totais, que agregam os esgotos domésticos urbanos e a criação animal. Os níveis de concentração estão bem abaixo do limite estabelecido para a classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/05, sendo de 3,7 mg/L para a Amônia (considerando pH em torno de 7,5), e de 10 mg/L para o Nitrato.

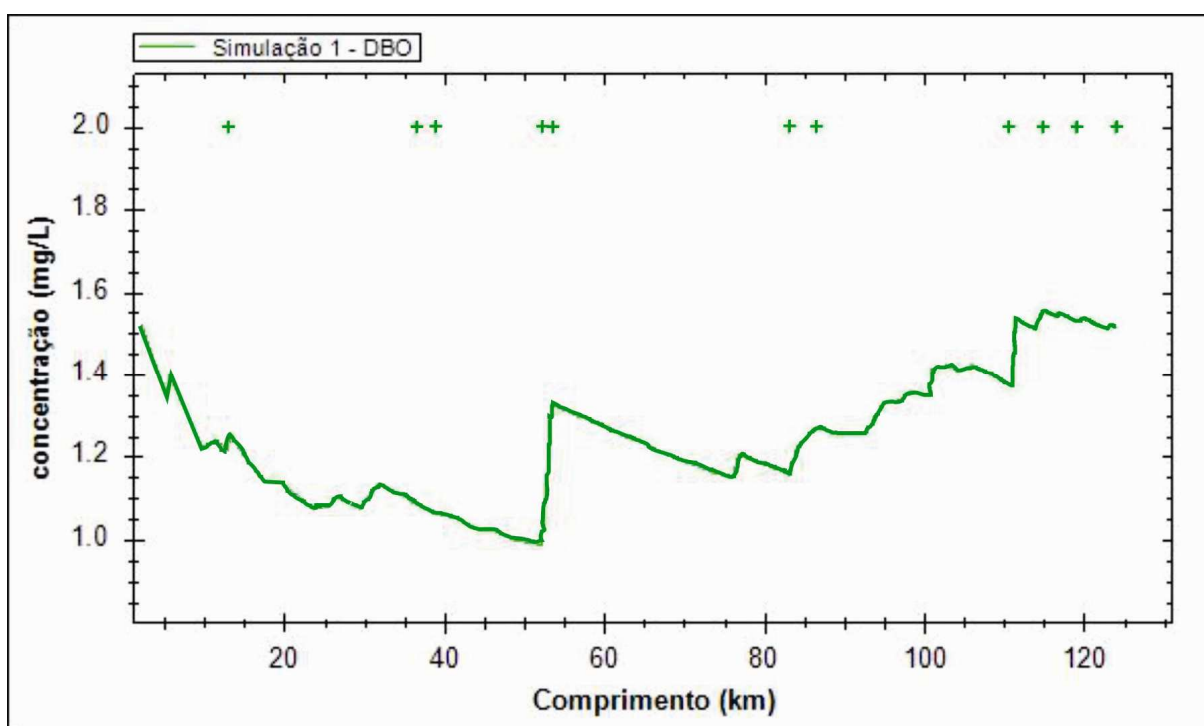


Figura 4.13: Perfil Longitudinal de Concentrações de DBO ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões Q50% de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento

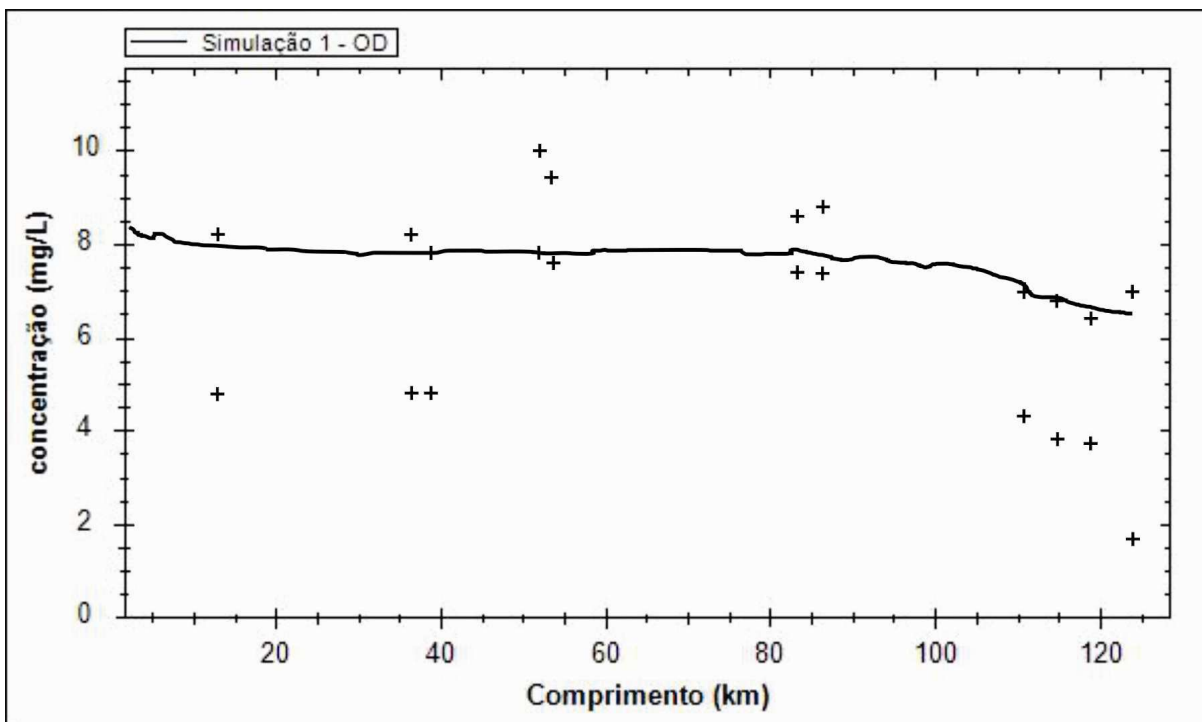


Figura 4.14: Perfil Longitudinal de Concentrações de OD ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões  $Q_{50\%}$  de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento

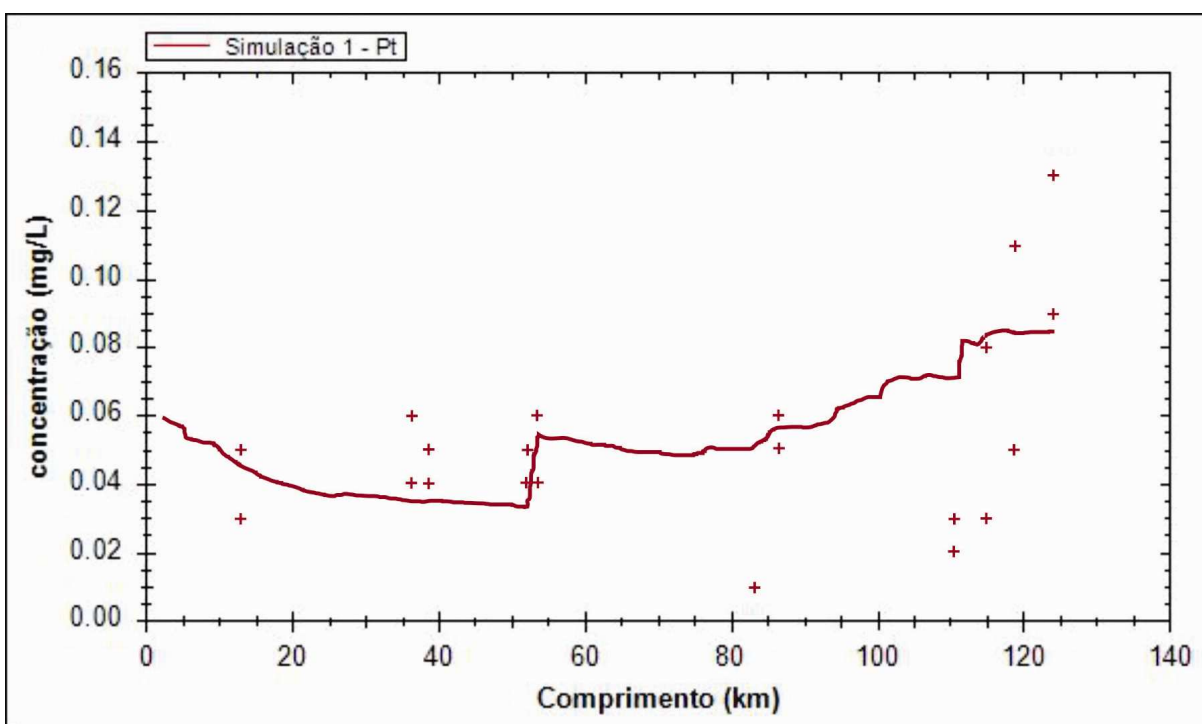


Figura 4.15: Perfil Longitudinal de Concentrações de Fósforo Total ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões  $Q_{50\%}$  de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento

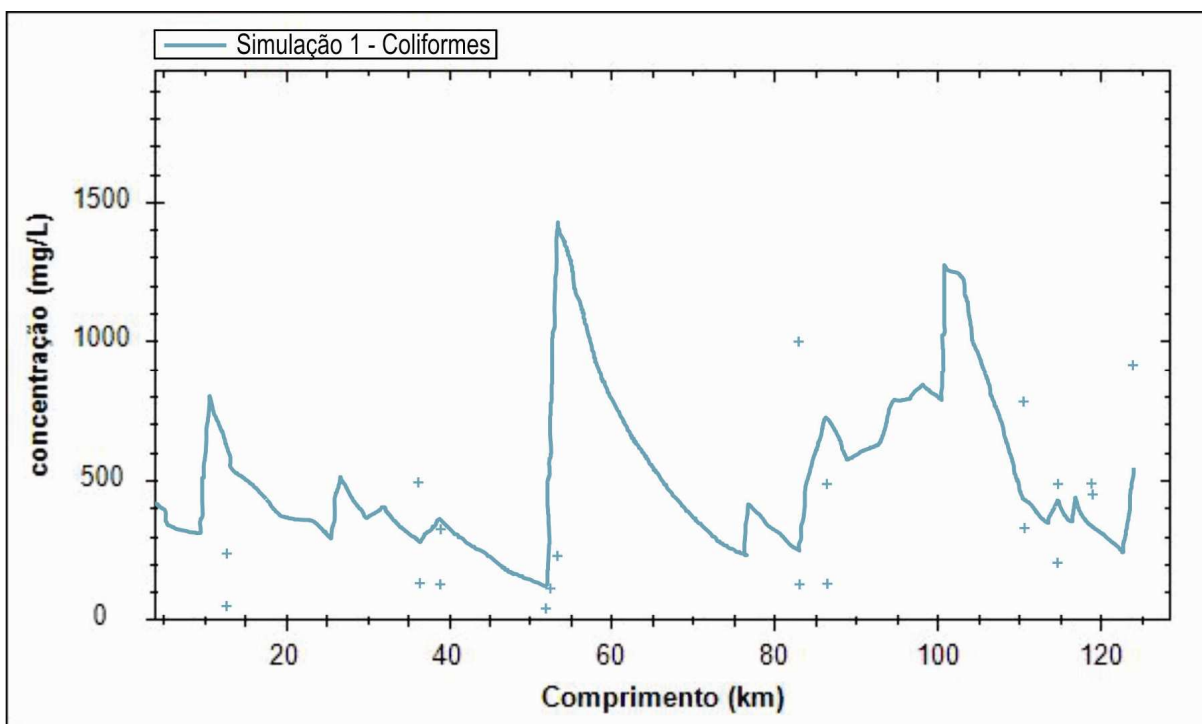


Figura 4.16: Perfil Longitudinal de Concentrações de Coliformes Termotolerantes ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões  $Q_{50\%}$  de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento

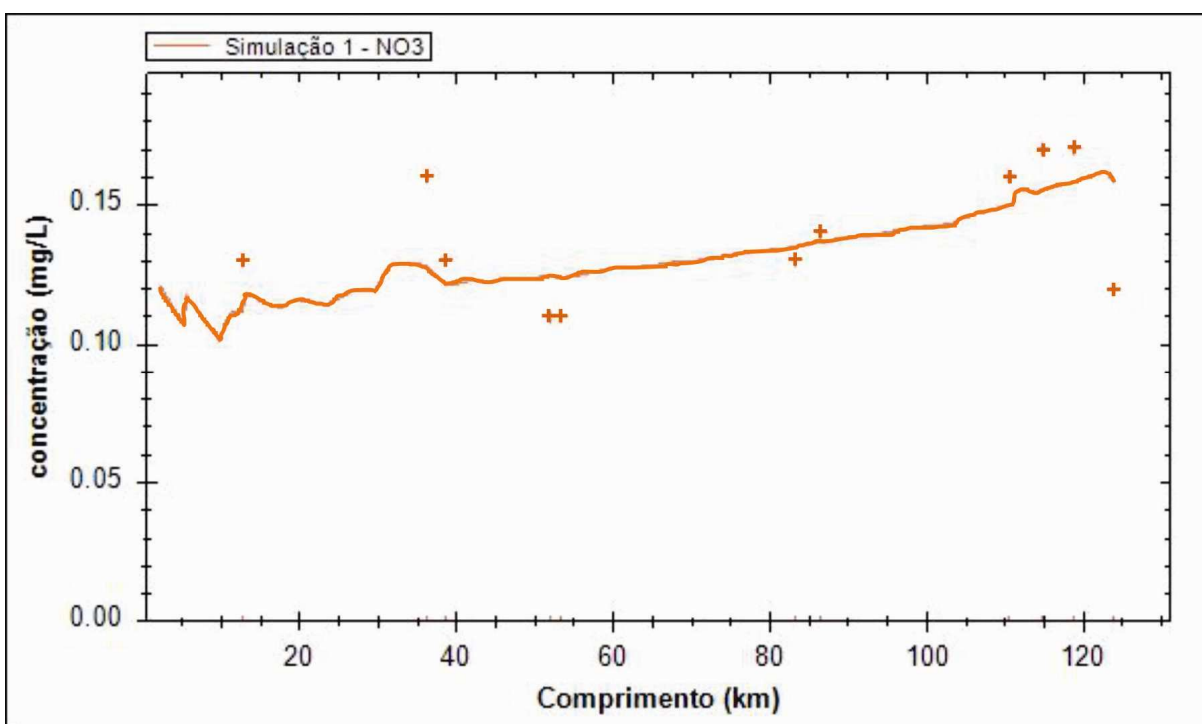


Figura 4.17: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrato ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões  $Q_{50\%}$  de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento



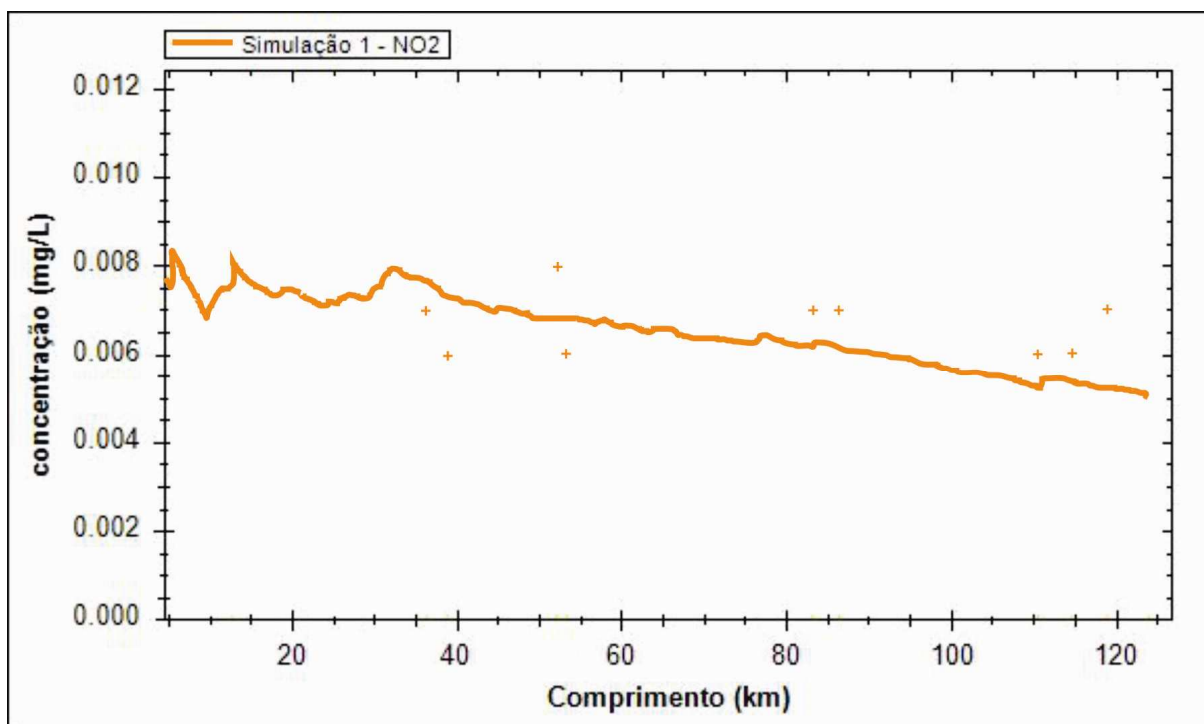


Figura 4.18: Perfil Longitudinal de Concentrações de Nitrito ao Longo do Rio Macaé, Considerando na Simulação a Ocorrência de Vazões  $Q_{50\%}$  de Permanência e as Campanhas 1 (C1) e 3 (C3) de Monitoramento

## 4.5 Aplicação: Resultados das Simulações de Qualidade de Água na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras

Os resultados das simulações de qualidade de água na Região Hidrográfica Macaé e das Ostras serão expressos através de mapas que mostram a concentração resultante em cada trecho simulado. A distribuição das classes de valores é feita de acordo com as classes de enquadramento da Resolução CONAMA nº 357/2005. Os limites em cada classe desta resolução, para cada parâmetro analisado pela modelagem, estão apresentados no Quadro 4.15.

Quadro 4.15: Descrição das Faixas de Valores Admissíveis por Classe de Enquadramento dos Principais Parâmetros de Qualidade

Classe	Conc. máx. DBO (mg/ L)	Conc. mín. OD (mg/ L)	Conc. máx. amônia <sup>(a)</sup> (mg/ L)	Conc. máx. nitrito (mg/ L)	Conc. máx. nitrato (mg/ L)	Conc. máx. fósforo <sup>(b)</sup> (mg/ L)	Conc. máx. Coliformes <sup>(c)</sup> (MNP/100 mL)
1	3	6	3,7	1	10	0,1	200
2	5	5					1000
3	10	4	13,3			0,15	2500
4	> 10	2	>13,3	> 1	> 10	> 0,15	> 2500

(a) concentrações de amônia referentes a uma faixa de pH até 7,5

(b) concentrações de fósforo total referentes a ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários

(c) limite de coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (à exceção do uso de contato primário)

### 4.5.1 Cena Atual (2012) em Condição de Estiagem

Da Figura 4.19 até a Figura 4.23 apresentam-se os resultados das simulações qualitativas para os parâmetros DBO, OD, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes, relativos à cena

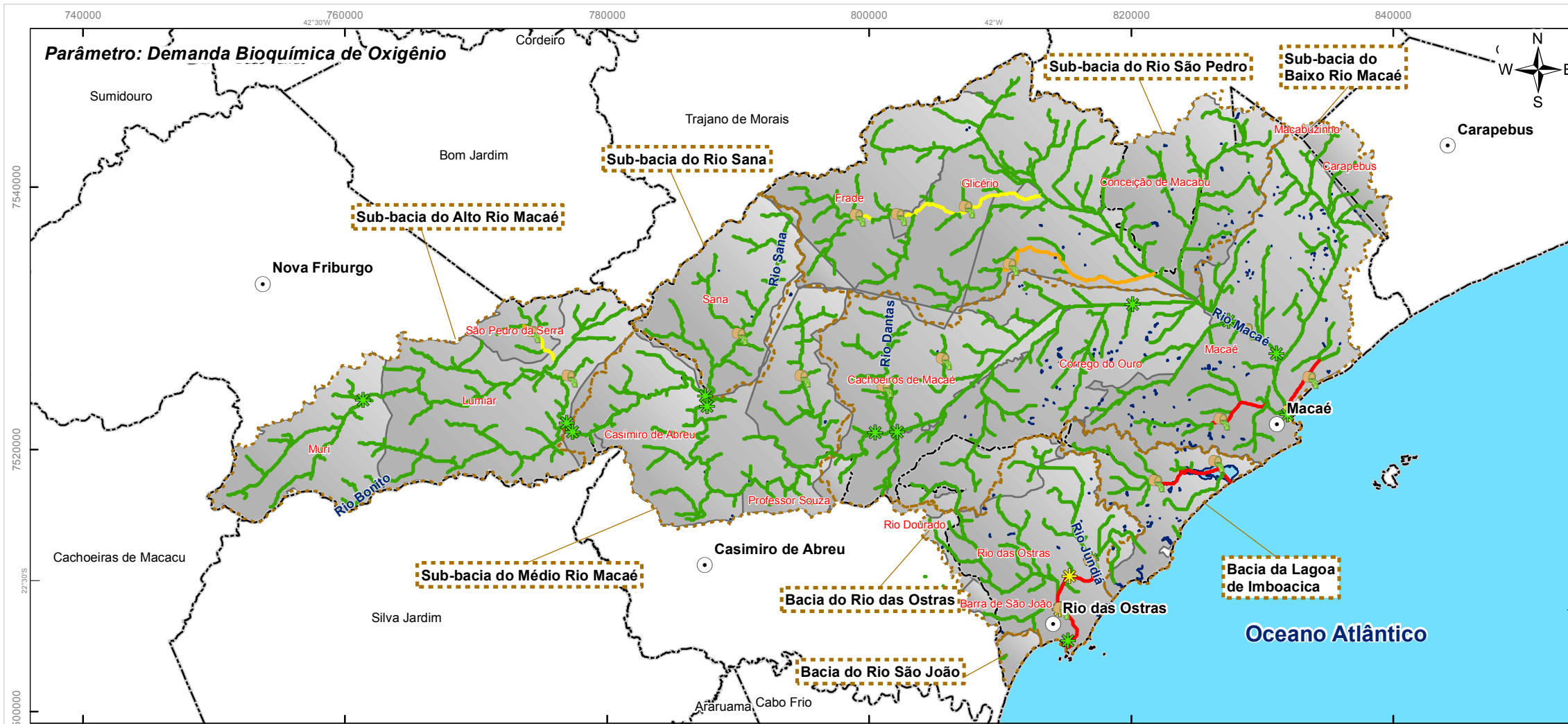
atual, 2012, considerando a ocorrência da vazão de estiagem  $Q_{90}$  e  $Q_{7,10}$ , respectivamente. Não foi considerada a vazão  $Q_{95\%}$  pois os resultados das simulações seriam intermediários aos apresentados.

Nesse caso, como já foi aduzido previamente, foram consideradas apenas as cargas de esgotos domésticos urbanos. Observa-se no mapa a localização dos pontos de monitoramento e também dos pontos de lançamentos adotados no modelo. Os pontos de monitoramento estão representados por um asterisco que obedece a um sistema de cores apresentado no Quadro 4.15, que remete à classe de qualidade da Resolução CONAMA nº 357/05, conforme as características da amostra obtida na segunda campanha. Esta campanha foi realizada em um período de estiagem, mais próximo à situação da  $Q_{7,10}$ . É possível verificar que, na maioria das vezes, a classe de qualidade da amostra obtida corresponde à classe simulada do trecho.

É importante salientar que os resultados verificados próximos ao mar não devem ser considerados com rigor, devido à influência das marés, que se estende até a confluência do rio São Pedro com o rio Macaé.

Analisando conjuntamente os resultados das simulações e do monitoramento, se pode concluir que, de forma geral, a Região Hidrográfica Macaé e das Ostras apresenta qualidade razoável em seus corpos hídricos superficiais em situações de estiagem. Exceções ocorrem em trechos localizados a jusante das sedes distritais, devido à carência de tratamento dos esgotos domésticos. O trecho do córrego do Ouro é o mais crítico, especialmente para o Fósforo Total. Alguns trechos apresentam qualidade comprometida, ainda que não tenham fontes pontuais à montante. Esta qualidade comprometida é atribuída às fontes difusas, como ocorre no trecho de rio correspondente ao distrito de Conceição de Macabu e no Canal Jurumirim.

**Figura 4.19 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência da Estiagem (Q90%) - Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido**



**Legenda**

- Sede dos Municípios
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário
- Pontos de Monitoramento**
  - Classe 3
  - Classe 2
  - Classe 1
- Fora de classe
- Classe 4
- Classe 3
- Classe 2
- Classe 1

**Resultado das Simulações: Parâmetros DBO e OD**

- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal
- Distrito

**Referências Cartográficas:**

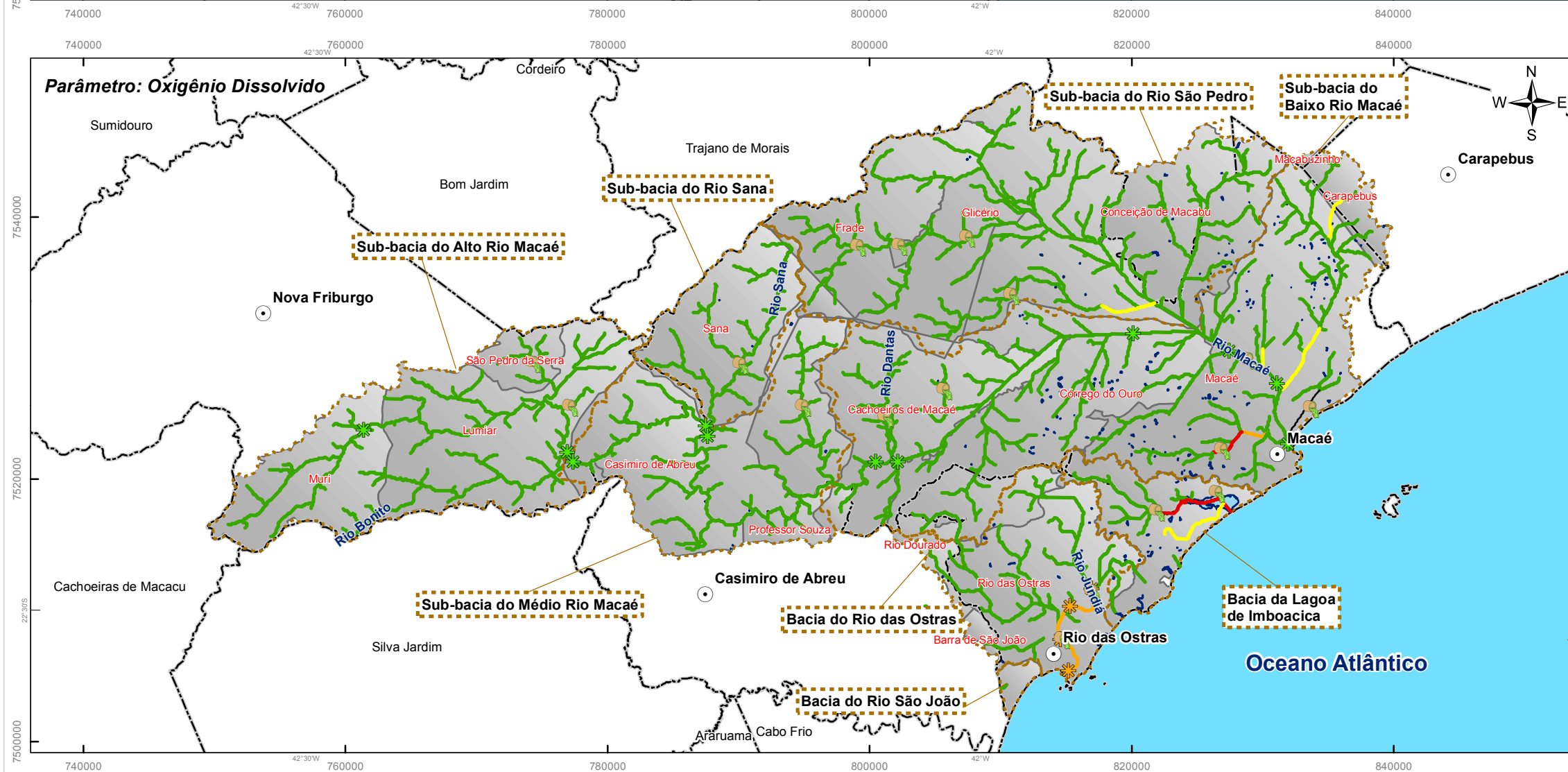
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário e Simulações: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

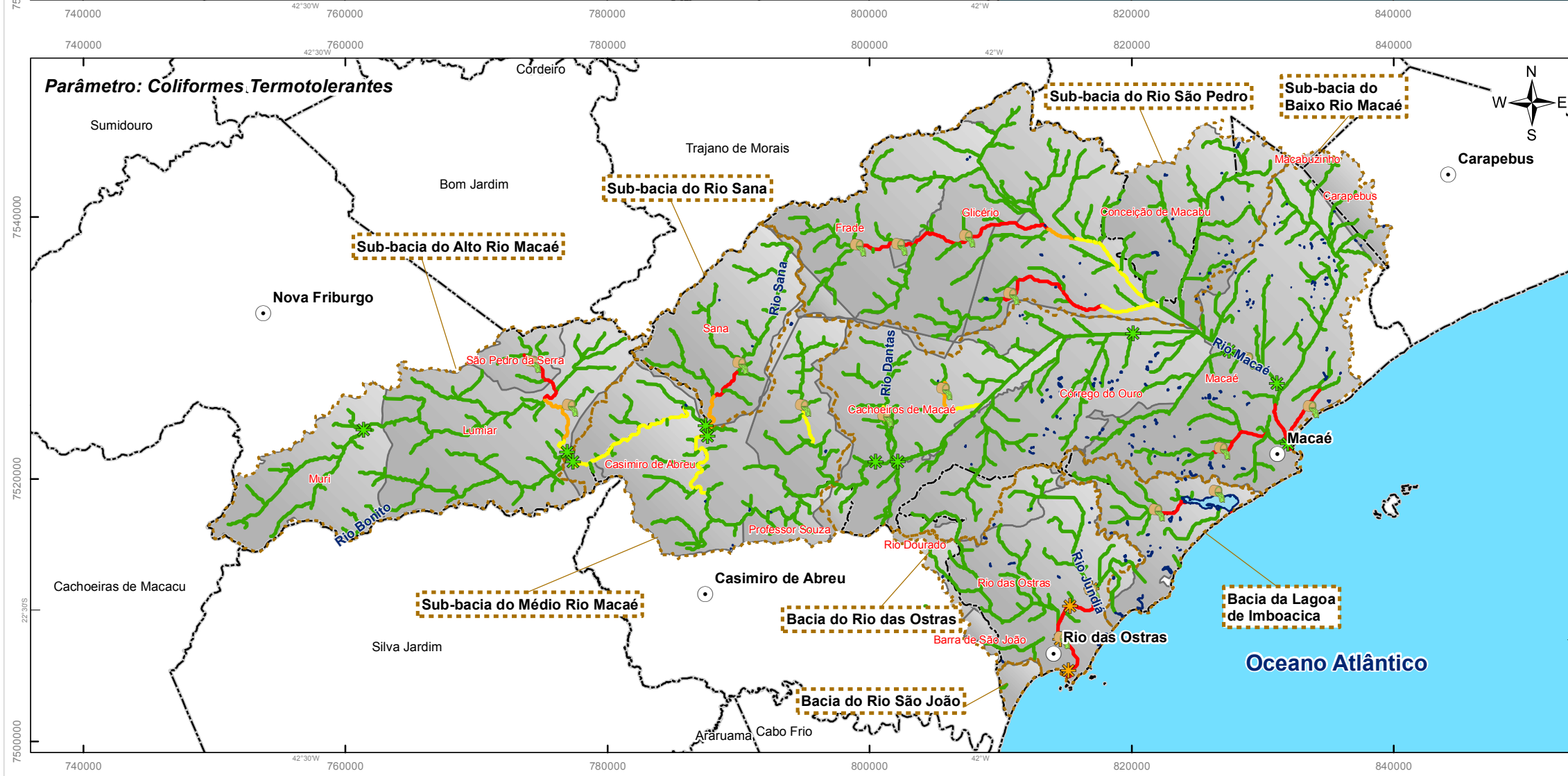
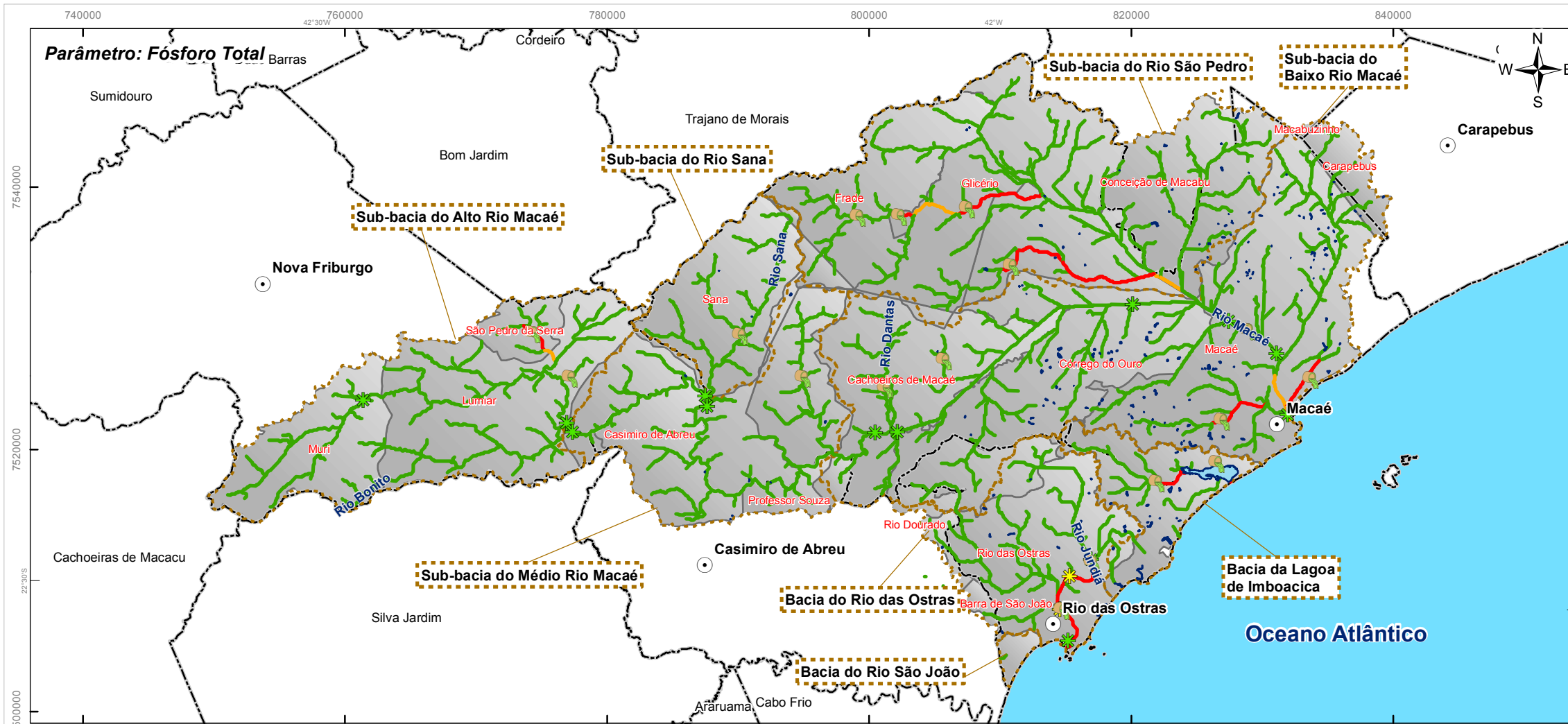
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000



**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Consórcio MACAÉ OSTRAS:



**Figura 4.20 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência da Estiagem (Q90%) - Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes**

**Legenda**

- Sede dos Municípios
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário
- Pontos de Monitoramento**
  - Classe 3
  - Classe 2
  - Classe 1
  - Classe 2
  - Classe 3
  - Classe 4
- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal
- Distrito

**Resultado das Simulações: Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes**

**Referências Cartográficas:**

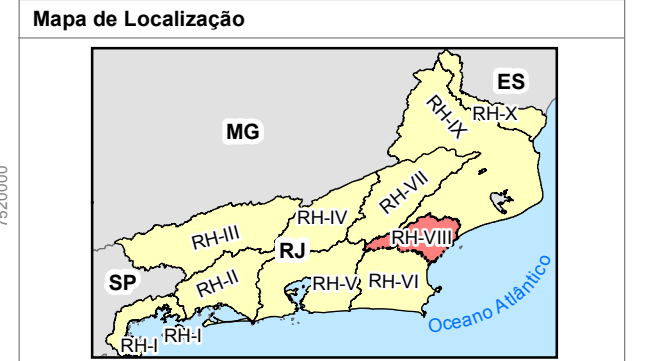
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário e Simulações: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

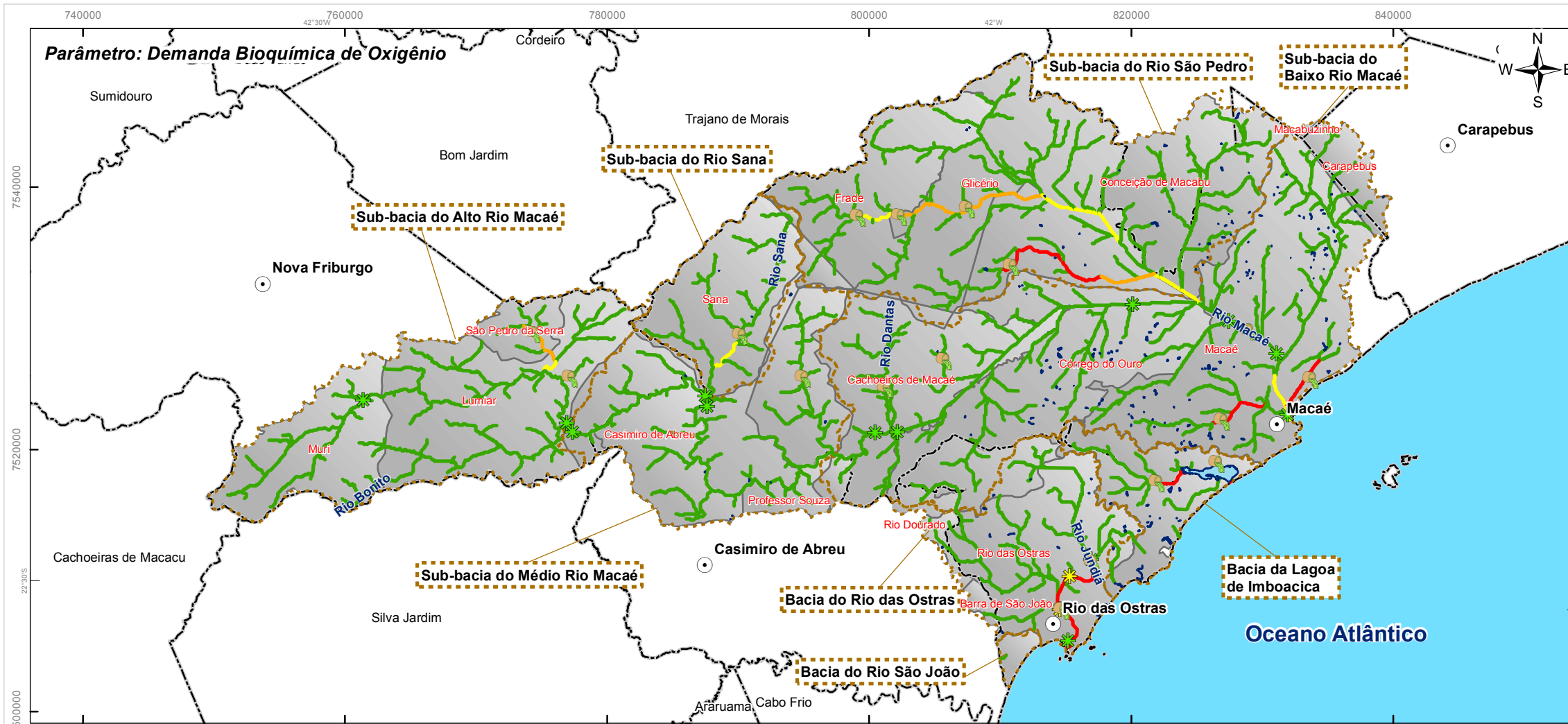
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000



**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Consórcio MACAÉ OSTRAS:



**Figura 4.21 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência da Estiagem (Q7,10) - Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido**

**Legenda**

- Sede dos Municípios
- 🗺 Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário
- Pontos de Monitoramento**
- ✳ Classe 3
- ✳ Classe 2
- ✳ Classe 1
- Fora de classe
- Classe 4
- Classe 3
- Classe 2
- Classe 1
- 🌊 Corpo Hídrico
- 🔲 Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- 🔲 Limite Municipal
- 🔲 Distrito

**Resultado das Simulações: Parâmetros DBO e OD**

**Referências Cartográficas:**

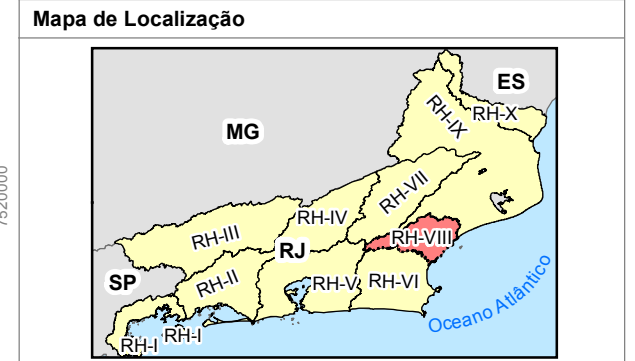
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário e Simulações: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

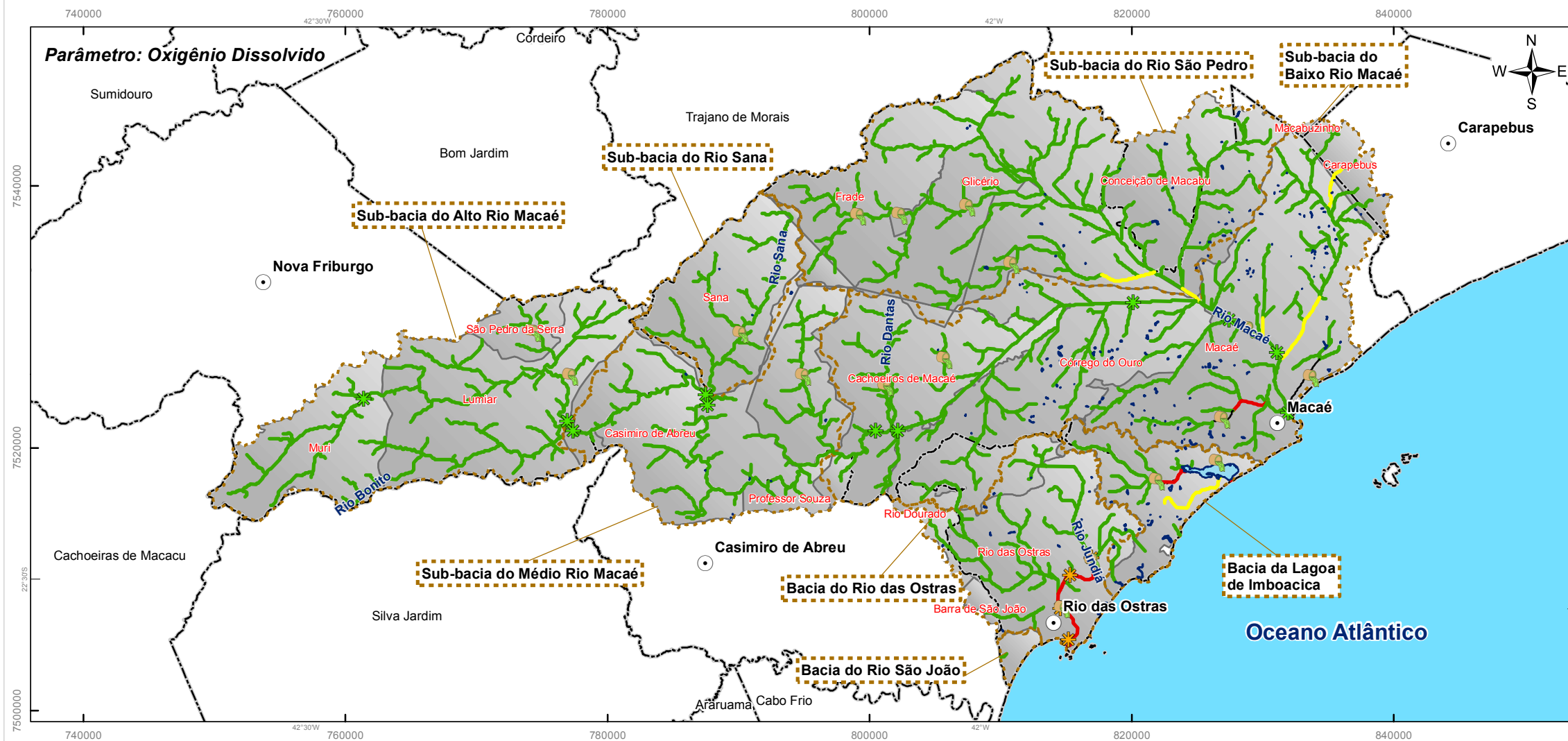
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

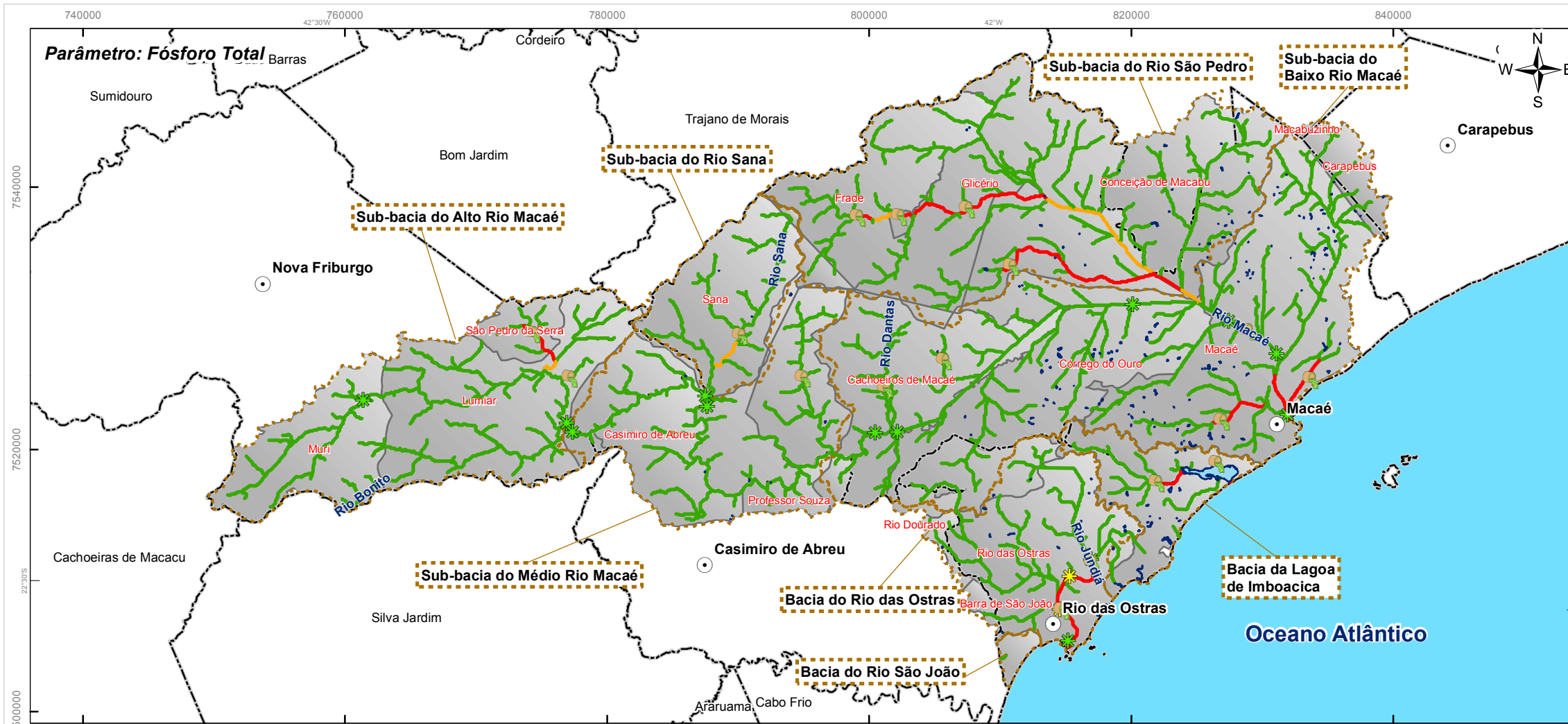


**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Consórcio MACAÉ OSTRAS:





**Figura 4.22 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência da Estiagem (Q7,10) - Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes**

**Legenda**

- Sede dos Municípios
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário
- Pontos de Monitoramento**
- ✱ Classe 3
- ✱ Classe 2
- ✱ Classe 1
- Classe 1
- Classe 2
- Classe 3
- Classe 4
- Resultado das Simulações: Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes
- Corpo Hídrico
- Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- Limite Municipal
- Distrito

**Referências Cartográficas:**

- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário e Simulações: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

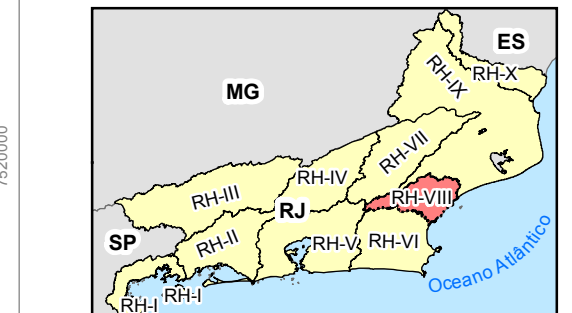
**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

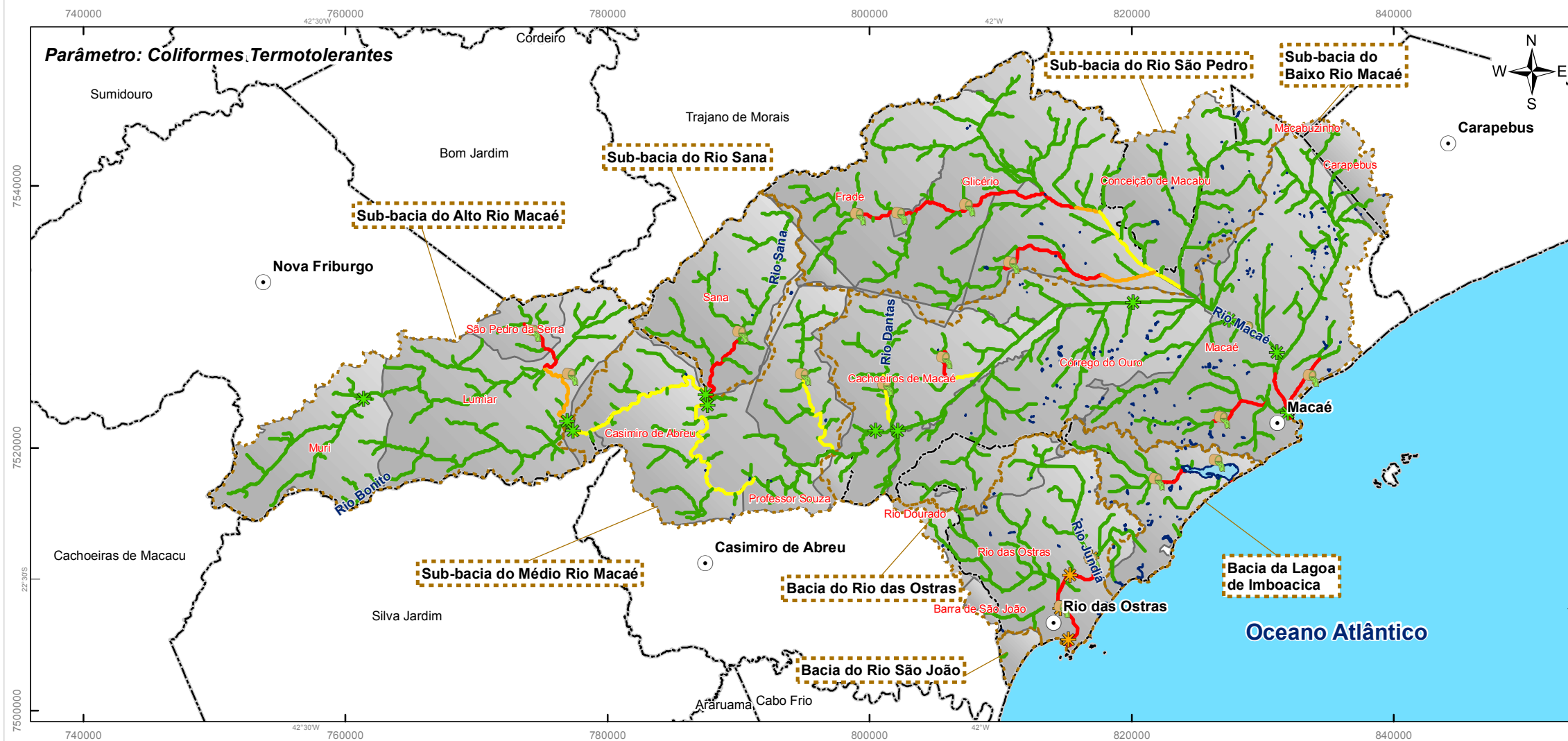
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

**Mapa de Localização**



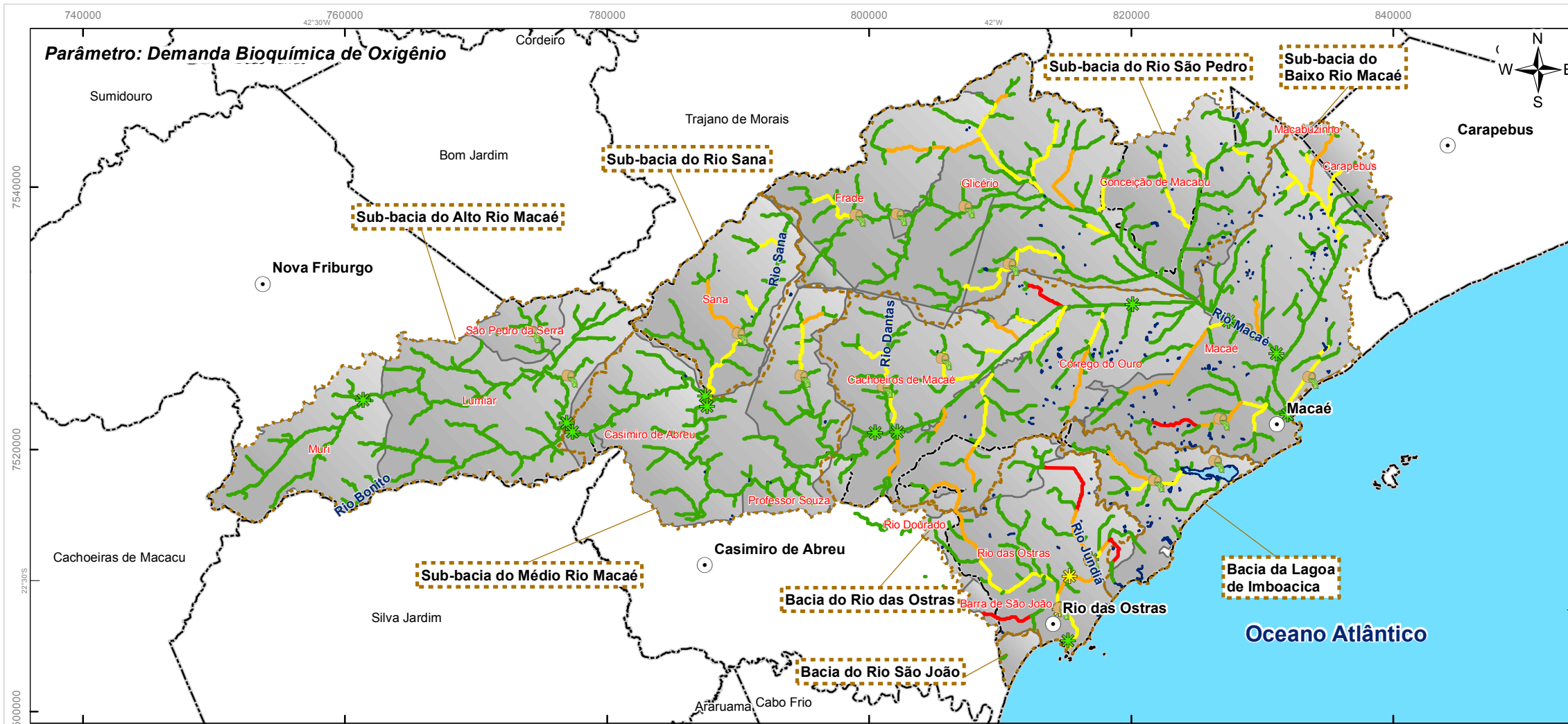
**Projeto**

**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**



#### 4.5.2 Cena Atual (2012) em Condição de Vazões Médias

A Figura 4.23 e Figura 4.24 apresentam-se os resultados das simulações qualitativas para os parâmetros DBO, OD, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes, relativos à cena atual, 2012, considerando a ocorrência de vazões médias, mais especificamente a Q50%. Neste cenário, o efeito causado pelas cargas pontuais não é relevante. Contudo, a inserção das cargas oriundas dos animais e da agricultura ocasiona o surgimento de trechos com classes de enquadramento de pior qualidade. No rio das Ostras, observa-se que a inserção das cargas oriundas da criação animal ocasionou o surgimento de classes 3 e 4. O fósforo também é outro parâmetro bastante crítico, principalmente na bacia do rio São Pedro, tanto pelo efeito das cargas de origem animal, quanto pelas cargas da produção agrícola. As simulações de nitrogênio demonstraram que não houve nenhuma criticidade que pudesse indicar alteração da classe 1 dentre os seus elementos (amônia, nitrito e nitrato), e portanto, não foram apresentadas.



**Figura 4.23 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Vazões Médias (Q50%) - Parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido**

**Legenda**

- Sede dos Municípios
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário
- Pontos de Monitoramento**
- ✱ Classe 3
- ✱ Classe 2
- ✱ Classe 1
- Fora de classe
- Classe 4
- Classe 3
- Classe 2
- Classe 1
- **Resultado das Simulações: Parâmetros DBO e OD**
- 🌊 Corpo Hídrico
- ⬡ Limites das Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas
- ⬡ Limite Municipal
- ⬡ Distrito

**Referências Cartográficas:**

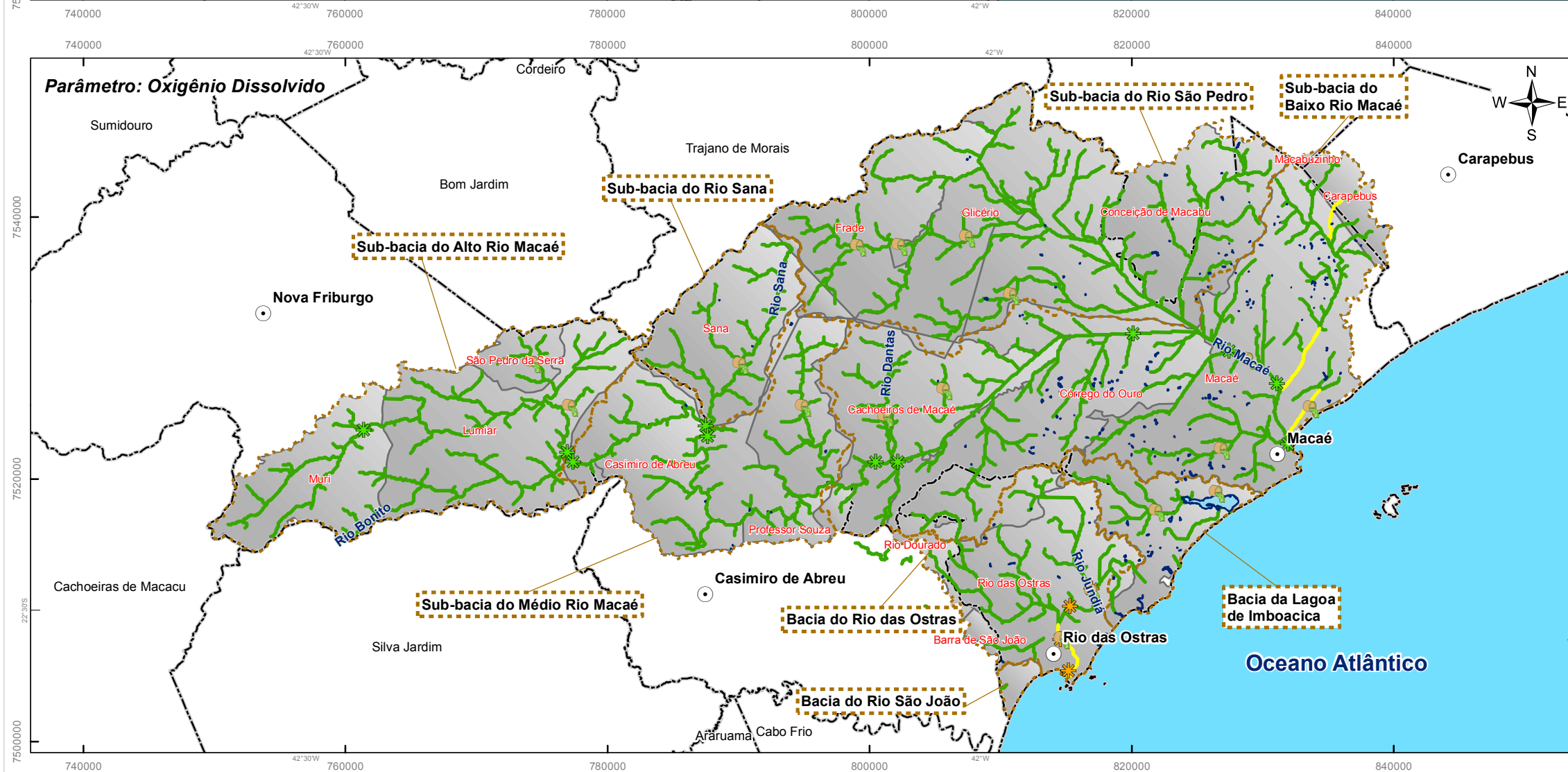
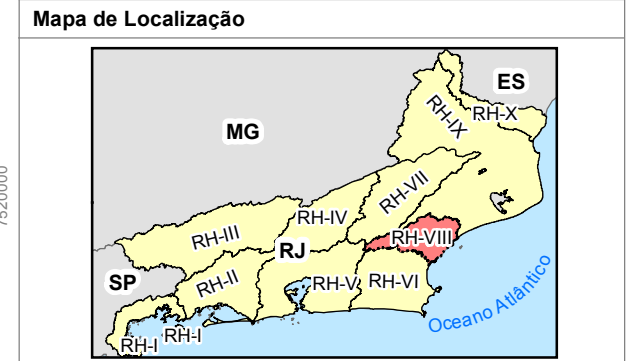
- Limites das Bacias e Sub-Bacias: delimitada de acordo com modelo digital de elevação gerado a partir da base cartográfica altimétrica na escala 1:25.000 - dados intermediários (IBGE/SEA) - disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Hidrografia: Ortofotos Digitais IBGE/SEA - 2005/2006, escala 1:25.000 - dados intermediários, disponibilizado pelo INEA/DIMFIS/GEOPEA, 2012;
- Relevo: MDT gerado a partir da base altimétrica - escala 1:25.000 (IBGE/SEA - 2005/2006 - dados intermediários);
- Limites Municipais: escala 1:50.000 Fundação CEPERJ, 2010;
- Sedes: escala 1:1.000.000 IBGE, 2010;
- Pontos de Lançamento de Esgoto Sanitário e Simulações: Consórcio Macaé/Ostras, 2012.

**Escala numérica em A3:** 1:400.000

**Escala Gráfica:** 0 2 4 6 8 km

**Informações Cartográficas:**

Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator  
 Meridiano Central: -45  
 Fuso: 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

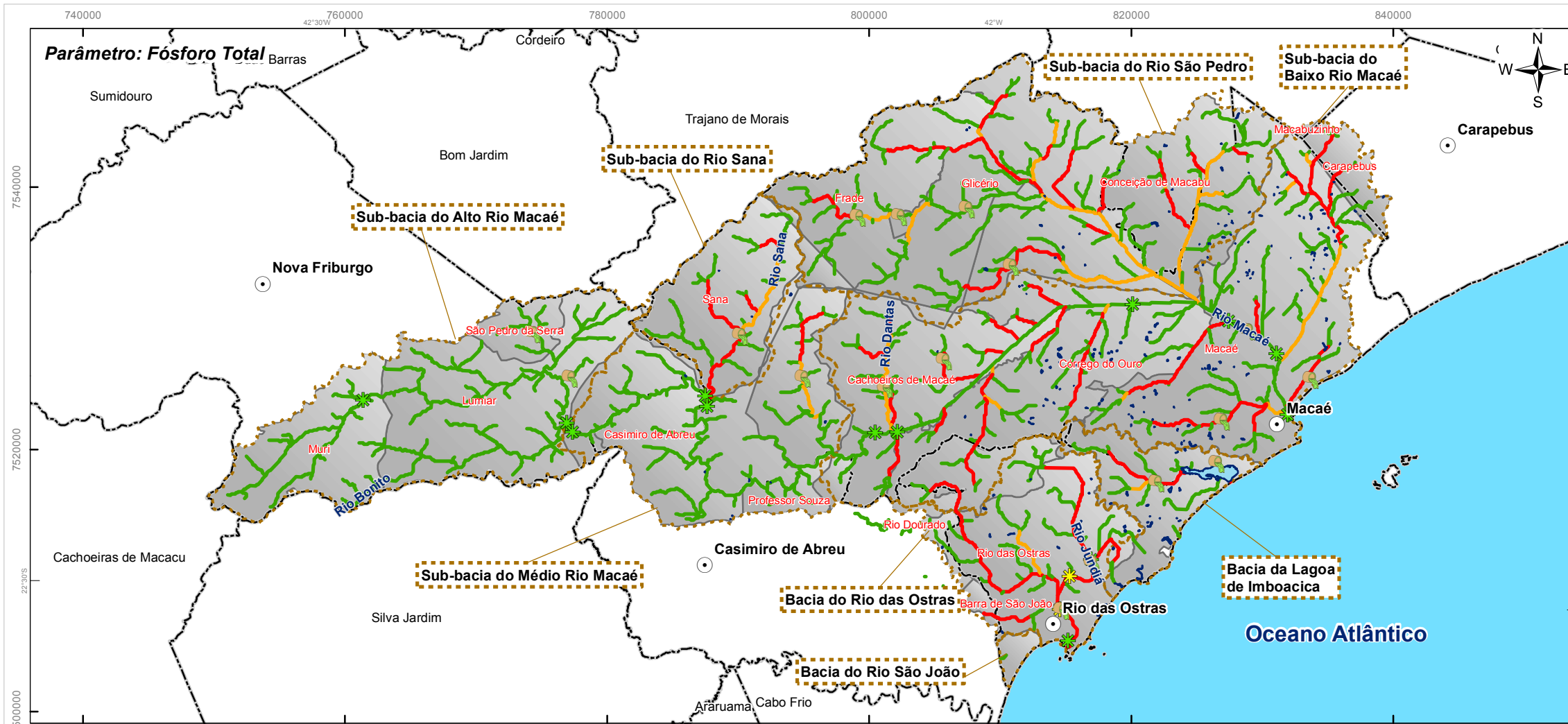


**Projeto**

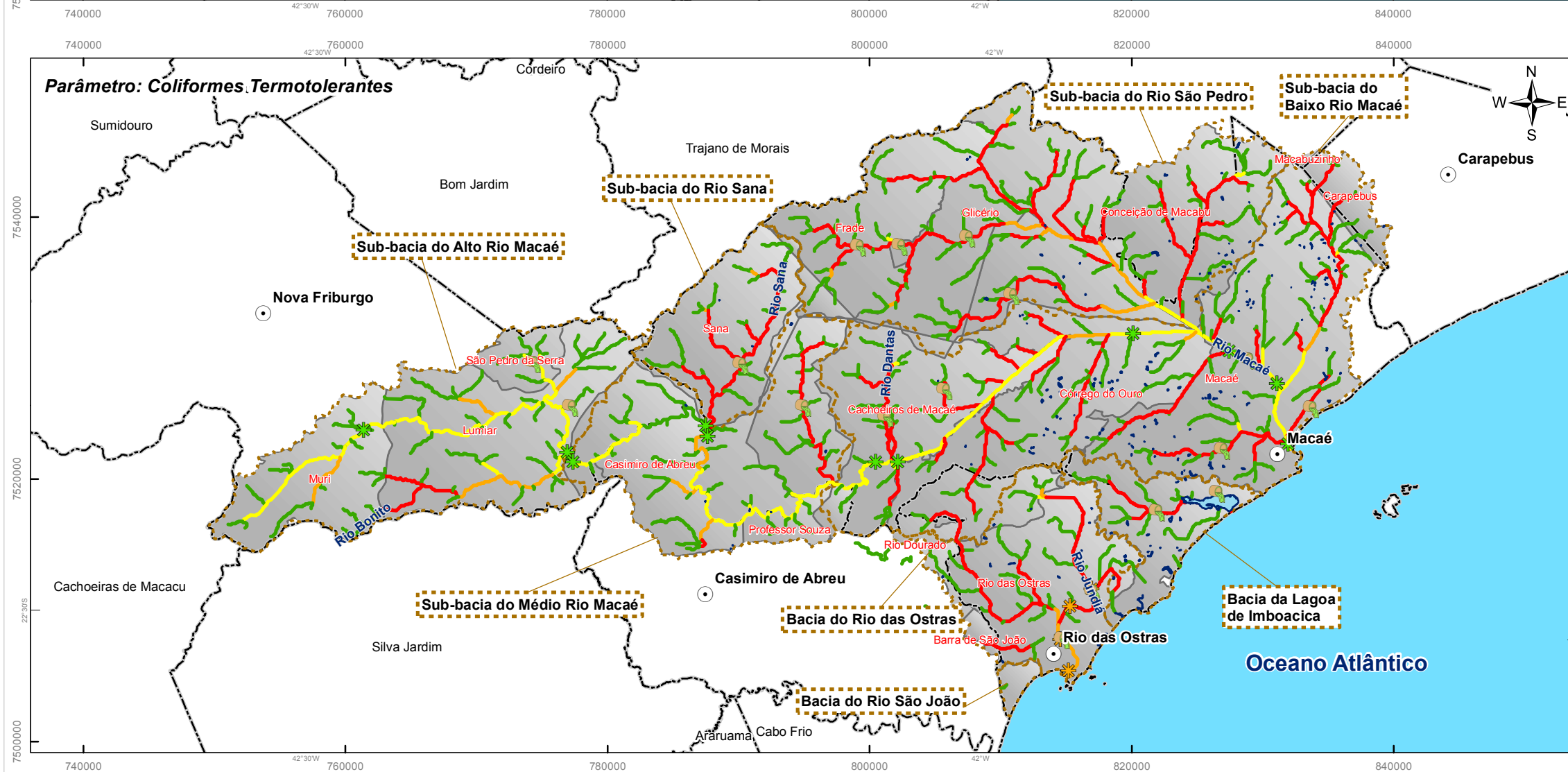
**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS**

Consórcio MACAÉ OSTRAS:





**Figura 4.24 Mapa de Simulação da Qualidade da Água: Cena Atual 2012 e Ocorrência de Vazões Médias (Q50%) - Parâmetros Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes**



## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUPAR. Usos múltiplos da água na bacia hidrográfica do rio Macaé - Avaliação Ambiental Integrada - Fase III. Ecologus Engenharia Consultiva, abril, 2010.
- CHAPRA, S. C. Surface water-quality modeling. New York: McGraw-Hill. 1997.
- COLLISCHONN, B.; PAIVA, R. C. D.; MEIRELLES, F. S. C.; COLLISCHONN, W.; Fan, F. M.; CAMANO, E. Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí-RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, p. 119-133, 2011.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.. Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, 2001.
- KAYSER, R. H. B. 2011 Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: Desenvolvimento e aplicação na bacia do rio dos Sinos. Trabalho de Conclusão. IPH UFRGS.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. 2007 Hidrologia Estatística. CPRM Belo Horizonte. 552p.
- PEREIRA, M. M. P.; KAYSER, R. H. B.; FRAGOSO JR., C. R.; COLLISCHONN, W.. Protótipo de Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas integrado a um SIG: IPH-SISDEC. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande: ABRH, 2009.

## **ANEXOS: CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE SUPORTE À DECISÃO**

## CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE SUPORTE À DECISÃO

A modelagem quantitativa e qualitativa de água foi realizada utilizando um modelo matemático integrado a um SIG, denominado SAD-IPH (Kayser e Collischonn, 2011), descrito na metodologia a seguir.

O SAD-IPH é um Sistema de Apoio à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas desenvolvido no IPH-UFRGS através de um conjunto de ferramentas programadas na linguagem VB.NET internamente a um software de SIG (MapWindow). O SAD-IPH representa a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica através de trechos individuais conectados em confluências. Cada trecho de drenagem tem um conjunto de atributos que são obtidos automaticamente a partir de operações de SIG, ou calculados em programas especificamente desenvolvidos para tal. Os atributos mais importantes são o comprimento; a declividade; a área de drenagem e a vazão.

A aplicação do SAD-IPH envolve as seguintes etapas:

- discretização da bacia;
- definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio;
- definição de parâmetros gerais de simulação;
- introdução de demandas consuntivas e lançamentos de efluentes;
- cálculo das condições de quantidade e qualidade em cada trecho de rio;
- análise e visualização dos resultados.

Cada uma destas etapas é detalhada nos próximos subitens da metodologia. A grande vantagem do SAD-IPH com relação a outros sistemas de suporte à decisão constitui-se no fato do mesmo poder se conectar diretamente a um banco de dados geoespacial, podendo ser flexível para qualquer bacia hidrográfica.

A Figura 1 apresenta a interface do modelo SAD-IPH, vinculada à interface do software MapWindow GIS. Em (a), são indicadas as funções típicas de um SIG, tais como a inserção de um arquivo, ferramentas de zoom, identificação de elementos, etc. Estas ferramentas já vêm incluídas na versão do SIG sem o plug-in. Em (b), indica-se o plug-in referente ao SAD-IPH, constituído pela barra de ferramentas ilustrada. Em (c) são listados os arquivos inseridos no projeto, no caso de uma aplicação do SAD, estão presentes o arquivo da rede de drenagem representando a bacia, e os arquivos de usuários da bacia, os quais serão detalhados no decorrer do trabalho.

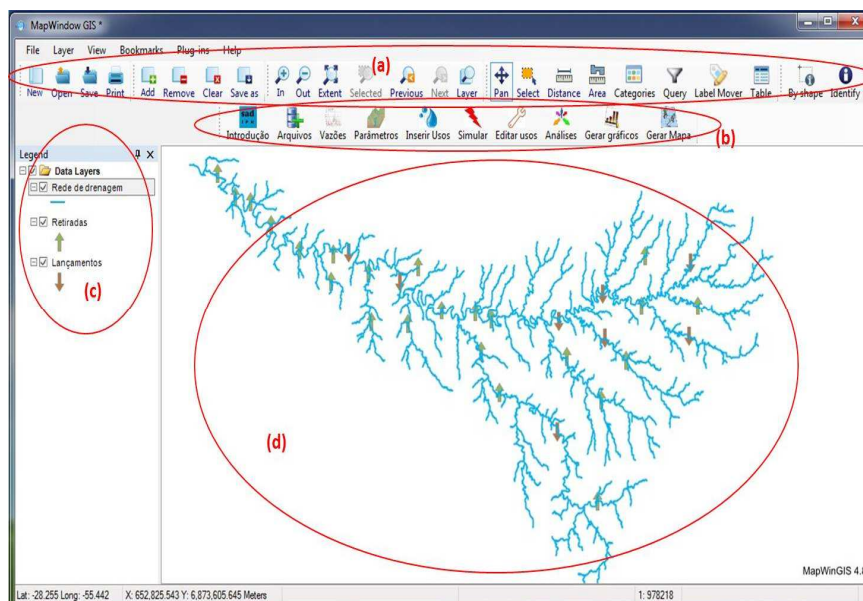


Figura 1: Interface do SAD-IPH Associado ao Software MapWindow GIS.

A Figura 2 apresenta um algoritmo onde integra todas as operações do sistema. Sua concepção foi baseada no modelo típico de SSD's proposto por Porto (1997). A linha tracejada indica as operações que são executadas no próprio sistema, através da interface existente. A etapa de pré-processamento é responsável pela geração do banco de dados da bacia hidrográfica. Os dados dos usuários serão inseridos através da interface do sistema, onde será criado um banco de dados específico para eles. O sistema conta com três modelos de simulação, dois modelos de caráter comportamental e um modelo de planejamento.

A etapa de criação do banco de dados geoespacial de uma bacia hidrográfica na etapa de pré-processamento tem como produto final um arquivo shapefile denominado rede de drenagem, que representam a drenagem de uma bacia graficamente segmentada em vários trechos. Isto é obtido através do processamento de um Modelo Digital de Elevação (MNT), que corresponde a uma representação de dados topográficos na forma de uma imagem no formato raster, ou matricial, onde cada pixel dessa imagem tem como atributo o valor de elevação do terreno representado.

A partir do MNT é feita uma discretização da bacia, que consiste na obtenção de informações como direções de escoamento; área de drenagem; rede de drenagem; definição de trechos de rios; e definição de bacias hidrográficas. A discretização é a mesma aplicada no modelo chuva-vazão MGB-IPH, o que se constitui numa vantagem para aquisição dos dados gerados por este modelo hidrológico. Maiores detalhes quanto a esta etapa de pré-processamento estão apresentados no RELATÓRIO DO DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA MACAÉ E DAS OSTRAS (RD-04).

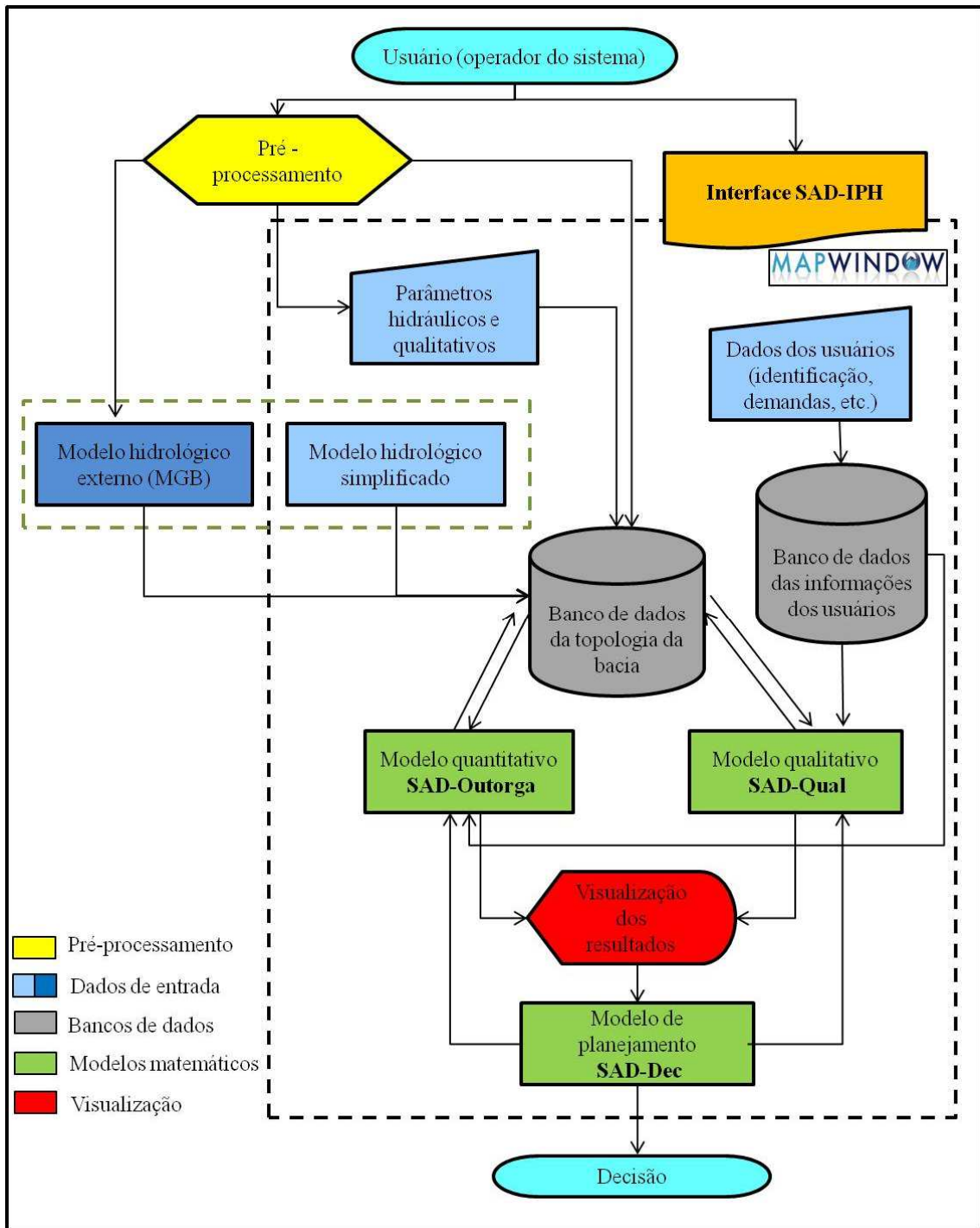


Figura 2: Algoritmo Geral de Funcionamento do SAD-IPH.

### SAD-IPH: Modelo quantitativo (SAD-Outorga)

O modelo quantitativo do sistema de suporte à decisão é um dos componentes do SAD-IPH. Sua primeira aplicação está descrita em Pereira (2010), onde se realizou um estudo de caso envolvendo o modelo hidrológico MGB e a inserção do cadastro de outorgas do Departamento de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul, aplicados na Bacia do Rio dos Sinos. A descrição mais atual do modelo encontra-se em Kayser (2011). Além da facilidade que se procura levar aos responsáveis pela concessão de outorgas quantitativas, também nota-se utilidade no modelo na avaliação em estudos de disponibilidade hídrica, comuns em trabalhos de planejamento de bacias hidrográficas.

A operacionalização do modelo se dá basicamente pela interação entre o banco de dados geoespacial da bacia hidrográfica e o banco de dados dos usuários de captações. Para melhor compreensão do funcionamento interno do modelo, ilustra-se a Figura 3, onde são indicadas as variáveis constituintes do sistema, e logo em seguida apresenta-se uma descrição de cada uma delas:

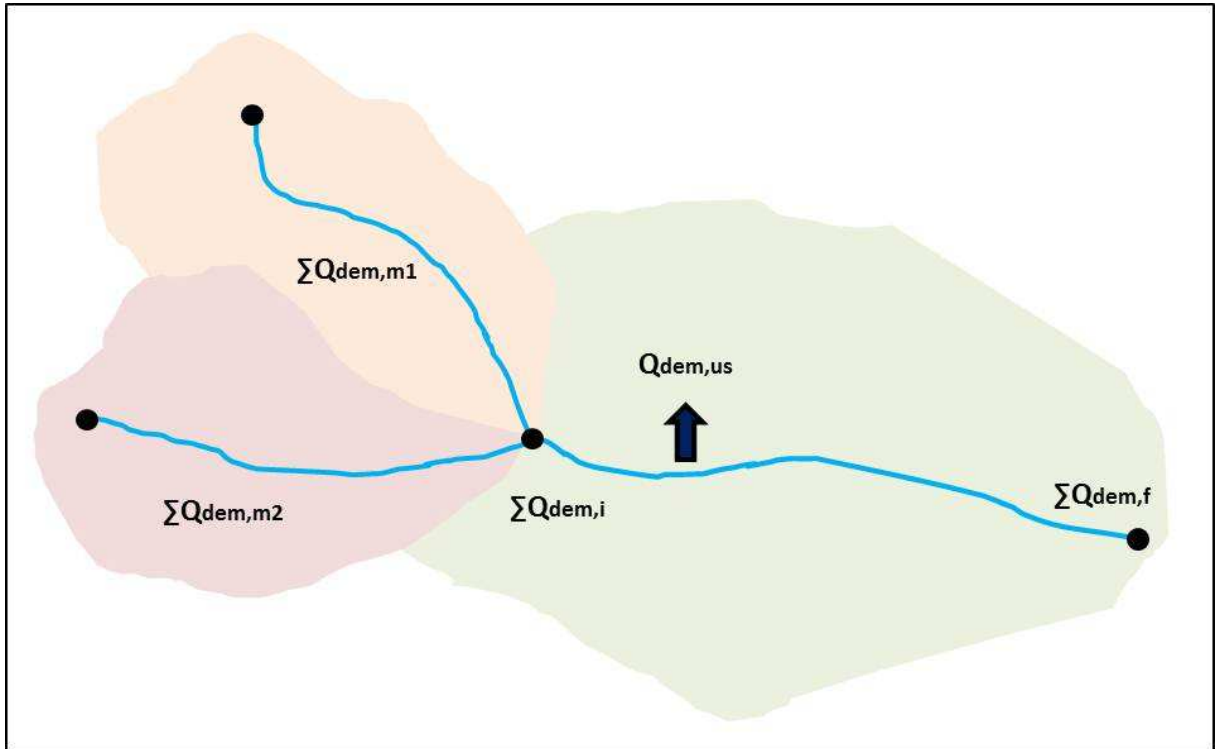


Figura 3: Esquema Ilustrando as Variáveis Envolvidas no Modelo Quantitativo do Sistema.

- $\Sigma Q_{dem,m1}$  : somatório das demandas localizadas a montante da primeira confluência do trecho simulado;
- $\Sigma Q_{dem,m2}$  : somatório das demandas localizadas a montante da segunda confluência do trecho simulado;
- $\Sigma Q_{dem,i}$  : somatório das demandas das duas confluências do trecho simulado.
- $Q_{dem,us}$  : demanda do usuário, caso existente;
- $\Sigma Q_{dem,f}$  : somatório da demanda inicial do segmento com o(s) usuário(s) localizado(s) no mesmo.

A estrutura do modelo é relativamente simples comparada ao módulo de qualidade, sendo limitada ao acúmulo de demandas de montante à jusante. A Figura 2 apresenta um algoritmo do funcionamento do modelo de quantidade. A simulação ocorrerá de montante para jusante, em ordem crescente.

Como mostra a Figura 4, primeiramente o sistema verificará se o segmento é de cabeceira ou não. Caso afirmativo, não haverá nenhuma demanda acumulada de montante, sendo que do contrário o sistema fará a leitura do código correspondente ao nó de montante do segmento, e em seguida fará a procura dos dois segmentos que possuem o código do nó de jusante igual ao nó de montante do trecho simulado. Feito isso, o próximo passo é a leitura



das demandas acumuladas destes trechos, e em seguida o modelo realiza a soma das demandas correspondentes às duas contribuições do trecho.

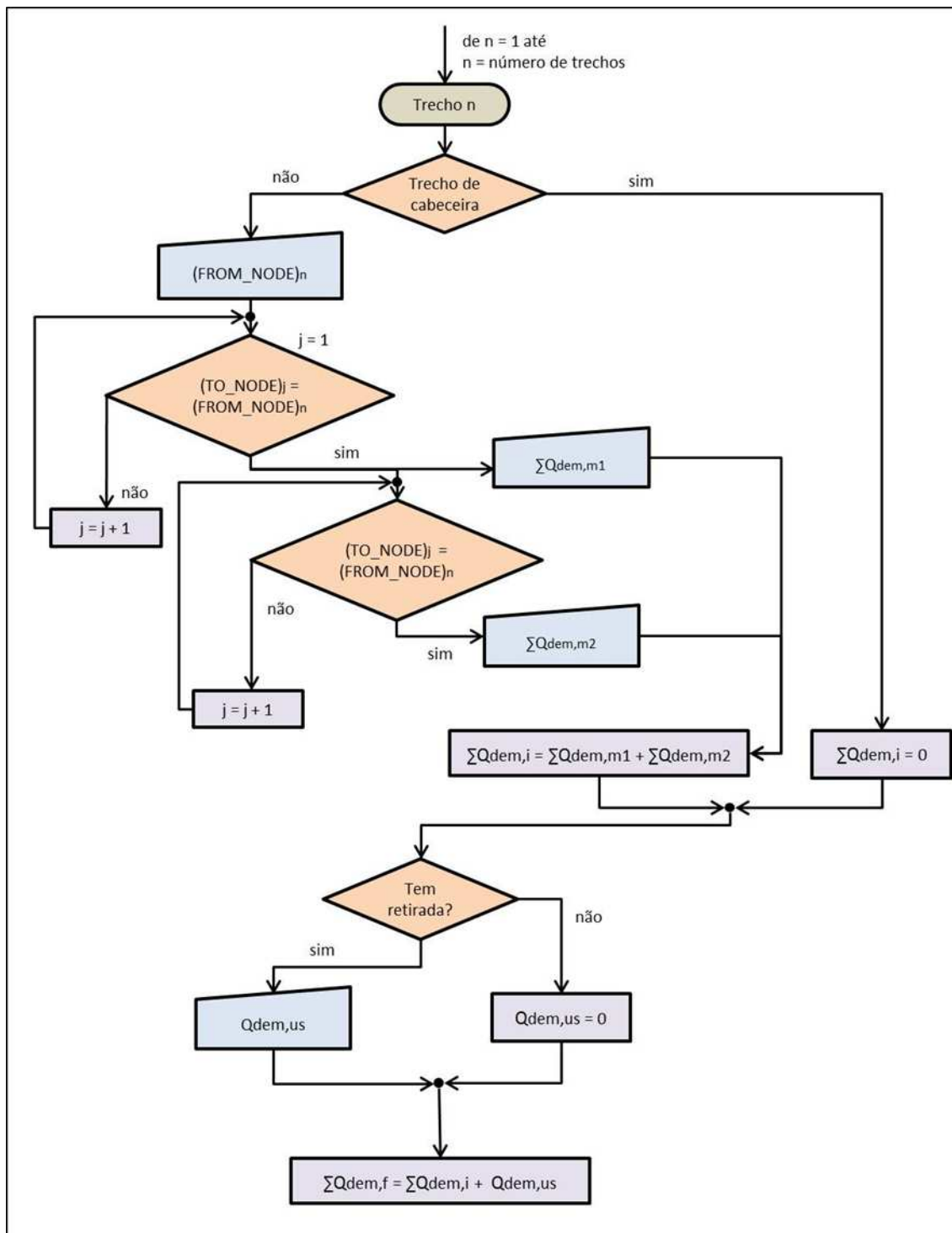


Figura 4: Algoritmo ilustrando o processamento de cálculo do modelo quantitativo.

A demanda resultante é denominada  $\Sigma Q_{dem,i}$ , correspondendo à demanda inicial do segmento. Na sequência, o sistema verificará se existem captações no trecho, caso existente será feita a leitura dos dados do usuário em seu banco de dados e esta demanda será somada com a demanda inicial do segmento, na qual foi estabelecida anteriormente. Portanto, a demanda resultante, denominada  $\Sigma Q_{dem,f}$ , na simulação do trecho de jusante esta demanda será considerada  $\Sigma Q_{dem,m1}$  ou  $\Sigma Q_{dem,m2}$ , ou seja, o somatório das demandas localizadas a montante de uma das confluências do trecho simulado.

Por fim, procede-se ao balanço hídrico de cada um dos trechos da segmentação, o qual é dado pela seguinte relação:

$$BH_i = \frac{\sum Q_{dem,f,i}}{Q_{disp,i}} * 100$$

Onde  $\sum Q_{dem,f,i}$  é o somatório de todas as demandas localizadas a montante do segmento i, incluindo a demanda do próprio trecho, e  $Q_{disp,i}$  é a disponibilidade de água definida para o trecho i.

O sistema então gera automaticamente uma distribuição de classes de valores relacionados ao balanço hídrico resultante em cada segmento. Para cada classe de valores, são estabelecidas feições específicas para os segmentos que estiverem incluídos em determinada classe, podendo ser editado pelo usuário, assim como se pode estabelecer e criar novas classes de valores.

### Referências

KAYSER, R. H. B. Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos. 2011. 123 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, M. M. E. Integração de Modelos Hidrológicos e SIG na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.