



# PRH-BIG

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO  
HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE

## RD07

### DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

MAIO - 2019

Rio Mambucaba,  
Parque Mambucaba,  
divisa dos municípios  
Angra dos Reis e Paraty - RJ

Apoio:



Acompanhamento:



Execução:



Realização:





## APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste no Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas, elaborado pela empresa Profill Engenharia e Ambiente SA para a execução técnica da ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE (PRH-BIG), pertencente à Região Hidrográfica I do Estado do Rio de Janeiro.

O Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas (RD07) tem por base a proposta técnica apresentada no processo licitatório realizado junto ao INEA e está orientado de modo a atender o termo de referência e a Lei Nº 9.433/97, a Resolução do CNRH Nº 145/2012 e a Lei Estadual Nº 3.239/99, considerando o conteúdo legalmente exigido e as especificidades da RH-I.

Maio de 2019



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL .....</b>	<b>16</b>
2.1. PORÇÃO CONTINENTAL DA BAÍA DE ILHA GRANDE .....	16
2.1.1. DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS.....	17
2.1.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO .....	28
2.1.3. VALIDAÇÃO DO MODELO .....	37
2.2. ILHA GRANDE (UHP-13).....	38
2.2.1. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES .....	40
2.3. RESULTADOS - DISPONIBILIDADE .....	45
2.3.1. DISPONIBILIDADE NA PORÇÃO CONTINENTAL .....	45
2.3.2. DISPONIBILIDADE NA UHP 13 – ILHA GRANDE .....	66
2.3.3. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	71
<b>3. RESULTADOS PRELIMINARES QUALITATIVOS .....</b>	<b>73</b>
3.1. FORMA DE AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	75
3.2. DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA EXISTENTES NA BAÍA DA ILHA GRANDE .....	75
3.3. AVALIAÇÃO GERAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BAÍA DA ILHA GRANDE .....	77
3.4. AVALIAÇÃO CONSOLIDADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BAÍA DA ILHA GRANDE .....	85
3.5. SÉRIES TEMPORAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	86
<b>4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA .....</b>	<b>94</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS NA RH-I.....	96
4.1.1. SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO.....	98
4.1.2. SISTEMAS AQUÍFEROS SEDIMENTARES .....	100
4.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA NA RH-I .....	102
4.2.1. ESTIMATIVA DE RECARGA DOS AQUÍFEROS .....	103
4.2.2. DISPONIBILIDADE EFETIVA E INSTALADA NA RH-I .....	106
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>
ANEXO I – ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA ESTAÇÃO PARATI .....	112
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>113</b>
<b>2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>114</b>
2.1. Nova aquisição e avaliação dos dados de séries diárias.....	114
2.2. Avaliação de consistência da Estação Parati .....	115



---

2.3. Comparação com dados do Atlas Pluviométrico .....	118
<b>3. CONCLUSÕES .....</b>	<b>121</b>
ANEXO II – ANÁLISE DAS CURVAS CHAVES DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS.....	
1. AVALIAÇÃO REALIZADA .....	123



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Unidades de Planejamento Hidrológico na RH-I - Baía de Ilha Grande .....	12
Figura 2.1 – Etapas do Modelo MGB.....	16
Figura 2.2 – Modelo Digital de Elevação utilizado neste estudo .....	19
Figura 2.3 – Sub-Bacias e Minibacias obtidas .....	20
Figura 2.4 – Tipos de Solo utilizados no âmbito das simulações .....	21
Figura 2.5 – Uso de Solo utilizado no âmbito das simulações .....	23
Figura 2.6 – Unidades de Resposta Hidrológica.....	24
Figura 2.7 – Estações Climatológicas.....	25
Figura 2.8 – Estações Pluviométricas utilizadas no âmbito das simulações .....	26
Figura 2.9 – Diferença entre precipitações médias mensais nas Estações Parati e São Roque .....	27
Figura 2.10 – Chuvas Médias Anuais simuladas para diferentes áreas da Baía da Ilha Grande .....	28
Figura 2.11 – Croqui de Localização e de Dados utilizados no estudo .....	31
Figura 2.12 – Hidrogramas das três estações utilizadas.....	33
Figura 2.13 – Hidrograma da Estação Fazenda Fortaleza.....	33
Figura 2.14 – Hidrograma da Estação Parati.....	34
Figura 2.15 – Hidrograma da Estação Fazenda das Garrafas .....	34
Figura 2.16 – Curva de Permanência da Estação Fazenda Fortaleza .....	35
Figura 2.17 – Curva de Permanência da Estação Parati .....	35
Figura 2.18 – Curva de Permanência da Estação Fazenda das Garrafas .....	36
Figura 2.19 – Cobertura vegetal da UHP-13.....	39
Figura 2.20 – Geomorfologia e Recursos Hídricos da Ilha Grande .....	40
Figura 2.21 – Ilustração da Técnica de Regionalização .....	41
Figura 2.22 – Mini-Bacias utilizadas para a regionalização .....	42
Figura 2.23 – Regionalização da $Q_{med}$ .....	43



Figura 2.24 – Regionalização da $Q_{50}$ .....	43
Figura 2.25 – Regionalização da $Q_{90}$ .....	44
Figura 2.26 – Regionalização da $Q_{95}$ .....	44
Figura 2.27 – Regionalização da $Q_{7-10}$ .....	44
Figura 2.28 – Hidrogramas Simulados e Observados para a Estação Fazenda Fortaleza .....	46
Figura 2.29 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Estação Fazenda Fortaleza .....	46
Figura 2.30 – Hidrogramas Simulados e Observados para a Estação Parati.....	48
Figura 2.31 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Estação Parati.....	48
Figura 2.32 – Localização da Estação Fazenda das Garrafas.....	50
Figura 2.33 – Hidrograma simulado e observado para a Estação Fazenda das Garrafas .....	51
Figura 2.34 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Fazenda das Garrafas...	51
Figura 2.35 – Localização da Estação Fazenda Santa Rita.....	52
Figura 2.36 – Localização da Estação Itapetininga.....	53
Figura 2.37 – Período de Dados de Vazão analisados por Francisco (2004) .....	54
Figura 2.38 – Localização da Estação Fluviométrica Fazenda Santa Rita em conjunto com a Estação Pluviométrica Bracui (244149).....	56
Figura 2.39 – Correlação entre vazões obtidas e vazões simuladas .....	57
Figura 2.40 – Disponibilidade Hídrica - $Q_{média}$ .....	60
Figura 2.41 – Disponibilidade Hídrica - $Q_{90}$ .....	61
Figura 2.42 – Disponibilidade Hídrica - $Q_{95}$ .....	62
Figura 2.43 – Vazão Absoluta - $Q_{95}$ .....	63
Figura 2.44 – Vazão Específica - $Q_{95}$ .....	64
Figura 2.45 – Vazão Absoluta - $Q_{mlt}$ .....	65
Figura 2.46 – Vazão Específica - $Q_{mlt}$ .....	66
Figura 2.47 – Vazões Médias para a UHP 13.....	67
Figura 2.48 – $Q_{90}$ para a UHP 13 .....	68



Figura 2.49 – Q95 para a UHP 13 .....	68
Figura 2.50 – Código dos Cursos Hídricos .....	69
Figura 3.1 – Parâmetros empregados no cálculo do IQA .....	74
Figura 3.2 – Croqui de localização das estações de Qualidade da água .....	77
Figura 3.3 – Perfil de Concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L) .....	78
Figura 3.4 – Perfil de Concentrações de DBO (mg/L).....	79
Figura 3.5 – Perfil de Concentrações de Nitrato (mg/L) .....	79
Figura 3.6 – Perfil de Concentrações de Fósforo Total (mg/L).....	80
Figura 3.7 – Perfil de Concentrações de Turbidez (NTU) .....	81
Figura 3.8 – Perfil de valores de pH .....	82
Figura 3.9 – Temperatura do Ar (°C) .....	82
Figura 3.10 – Temperatura da água (°C).....	83
Figura 3.11 – Coliformes Fecais (NMP/100 mL) .....	84
Figura 3.12 – Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L).....	84
Figura 3.13 – Série histórica do IQA.....	85
Figura 3.14 – Série Temporal de Parâmetros de Qualidade da água para a Estação Fazenda Fortaleza .....	87
Figura 3.15 – Série Temporal de Oxigênio Dissolvido .....	88
Figura 3.16 – Série Temporal de Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	88
Figura 3.17 – Série Temporal de Fósforo Total .....	89
Figura 3.18 – Série Temporal de Nitrato.....	89
Figura 3.19 – Série Temporal de Turbidez .....	90
Figura 3.20 – Série Temporal de pH.....	90
Figura 3.21 – Série Temporal de Coliformes Fecais .....	91
Figura 3.22 – Série Temporal de Temperatura do Ar .....	91
Figura 3.23 – Série Temporal de Temperatura da água .....	92
Figura 3.24 – Série Temporal de Sólidos Dissolvidos Totais .....	92



Figura 3.25 – Série Temporal de IQA.....	93
Figura 4.1 – Domicílios particulares permanentes e tipos de abastecimento de água no estado do Rio de Janeiro .....	95
Figura 4.2 – Total de pontos regularizados pelo Inea no estado do Rio de Janeiro .....	95
Figura 4.3 – Classificação dos aquíferos encontrados na RH-I de acordo com o tipo de porosidade da rocha.....	96
Figura 4.4 – Perfis litológicos de poços cadastrados na plataforma SIAGAS perfurados no município de Angra dos Reis - RJ na área abrangida pela RH-I.....	99
Figura 4.5 – Escoamento superficial e de base .....	104
Figura 4.6 – Descarga subterrânea mensal nos rios Mambucaba e Perequê-Açu.....	105

## ANEXO I

Figura 1.1 – Chuvas Médias Anuais simuladas para diferentes áreas da Baía da Ilha Grande .....	113
Figura 1.2 – Diferença entre precipitações médias mensais nas Estações 2344007 e 2344008 .....	114
Figura 2.1 – Comportamento da Estação Parati na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, São Roque e Alto da Serra do Mar.....	116
Figura 2.2 – Comportamento da Estação Patrimônio na comparação à média dos acumulados das estações Parati, São Roque e Alto da Serra do Mar.....	116
Figura 2.3 – Comportamento da Estação São Roque na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, Parati e Alto da Serra do Mar.....	117
Figura 2.4 – Comportamento da Estação Alto da Serra do Mar na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, São Roque e Parati .....	117
Figura 2.5 – Precipitações médias mensais em Paraty .....	119
Figura 2.6 – Precipitações médias mensais na Ponte Branca .....	120
Figura 2.7 – Precipitações médias mensais na Estação Patrimônio.....	120
Figura 2.8 – Precipitações médias mensais na Estação São Roque .....	120



## ANEXO II

Figura 1.1 – Avaliação da curva-chave para a estação Fazenda das Garrafas .....	124
Figura 1.2 – Avaliação da curva-chave para a estação Fazenda Fortaleza .....	125
Figura 1.3 – Avaliação da curva-chave para a estação Parati .....	126

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Unidades Hidrológicas de Planejamento.....	13
Quadro 2.1 – Distribuição dos tipos de solo por UHP .....	22
Quadro 2.2 – Estações Climatológicas utilizadas neste projeto .....	25
Quadro 2.3 – Parâmetros de Calibração do Modelo MGB .....	29
Quadro 2.4 – Estações Fluviométricas existentes na Baía da Ilha Grande.....	30
Quadro 2.5 – Mini-Bacias de Referência .....	42
Quadro 2.6 – Comparação entre vazões específicas observadas e simuladas .....	49
Quadro 2.7 – Vazões absolutas e específicas calculadas por Francisco (2004).....	54
Quadro 2.8 – Comparação entre vazões de Francisco (2004) e vazões reais para o período estudado (1980 - 2010) .....	54
Quadro 2.9 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação com os levantados por Francisco (2004) para a Estação Fazenda Santa Rita .....	56
Quadro 2.10 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação com os levantados por Francisco (2004) para a Estação Fazenda Itapetininga.....	56
Quadro 2.11 – Vazões de Referência para principais rios .....	59
Quadro 2.12 – Vazões de Referência por código para os cursos hídricos da UHP 13. ....	69
Quadro 3.1 – Valores orientadores de parâmetros de qualidade da água adotados pela Resolução CONAMA 357/2005. ....	75
Quadro 3.2 – Estações com Dados de Qualidade da água .....	76
Quadro 4.1 – Serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição e por tipo de captação no estado do Rio de Janeiro .....	94



Quadro 4.2 – Distribuição dos dados para cada parâmetro analisado em poços na RH-I .....	100
Quadro 4.3 – Estações fluviométricas utilizadas.....	104
Quadro 4.4 – Taxas de recarga dos aquíferos na RH-I .....	105
Quadro 4.5 – Estimativa de recarga através de fórmulas empíricas .....	106
Quadro 4.6 – Estimativa de recarga através da $Q_{7,10}$ .....	106
Quadro 4.7 – Fluxo de base Específico e Estimativa de Recarga por UHP .....	106
Quadro 4.8 – Disponibilidade efetiva e instalada na RH-I.....	107
Quadro 2.1 – Lista de estações pluviométricas consideradas .....	115

### LISTA DE MAPAS

Mapa 4.1 – Mapa Hidrogeológico da RH-1.....	97
---	----

### LISTA DE SIGLAS

**ANA** – Agência Nacional de Águas

**BFImax** – Maximum Base Flow Index

**CERHI** – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil

**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DRM** – Serviço Geológico do Rio de Janeiro

**ENS** – Coeficiente de eficiência Nash e Sutcliffe

**ETR** – Evapotranspiração

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INEA** – Instituto Estadual do Ambiente

**IQA** – Índice de Qualidade da Água

**MDE** – Modelo Digital de Elevação

**MGB** – Modelo de Grandes Bacias



---

**ND** – Nível Dinâmico

**NE** – Nível Estático

**NMP** – Número mais provável

**OD** – Oxigênio Dissolvido

**P** – Precipitação

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**PRH-BIG** – Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande

**RH-I** – Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande

**SAC** – Sistema Aquífero Cristalino

**SAS** – Sistema Aquífero Sedimentar

**SDT** – Sólidos Dissolvidos Totais

**SEIRHI** – Sistema Estadual de Informações Sobre Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro

**SIAGAS** – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

**SNIRH** – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

**UHP** – Unidades Hidrológicas de Planejamento



## 1. INTRODUÇÃO

O diagnóstico das disponibilidades hídricas para a RH-I, objeto deste relatório, é subsídio ao balanço hídrico, objeto do RD09, junto ao diagnóstico das demandas hídricas, objeto do RD08. Esses três relatórios, apesar de elaborados separadamente possuem a necessária articulação entre e si e, por isso, são seguem algumas premissas comuns.

A RH-I, no âmbito do PRH-BIG, é dividida em 14 Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), essas unidades foram definidas no início do Plano e tem como documento de descrição e aprovação a Nota Técnica das Unidades Hidrológicas de Planejamento, apresentada como anexo do Relatório de Caracterização Física e Biótica (RD01). Essas unidades têm seus limites e abrangência territorial apresentados na Figura 1.1.



Fonte: Elaboração própria

Figura 1.1 – Unidades de Planejamento Hidrológico na RH-I - Baía de Ilha Grande

De forma correlata a análise realizada no diagnóstico de demandas, serão apresentadas as disponibilidades para 13 das 14 UHPs, já que devido a fragmentação e distribuição espacial a UHP-14 – Ilhas, não possibilita a replicação das mesmas metodologias para a obtenção dos resultados de disponibilidade. Outrossim as características da UHP-13 – Ilha Grande fazem com



que essa seja analisada em separado das UHPs continentais. Essa divisão inicial entre “Porção Continental” e “Ilha Grande” é importante de ser estabelecida, pois, para cada área, diferentes metodologias para obtenção de vazões de referência foram adotadas. Para a porção continental foi adotada a técnica de Simulação Hidrológica, enquanto que para a Ilha Grande foi adotada a técnica de regionalização de vazões. As áreas de casa uma das UHPs são apresentadas no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Unidades Hidrológicas de Planejamento

Cód.	UHP Nome	Área da UHP (km <sup>2</sup> )		
		No Estado do RJ	Na porção paulista	Total
1	Ponta da Juatinga	144,85	0,00	144,85
2	Rio Paraty-Mirim	120,66	0,00	126,56
3	Rio Perequê-Açú	200,32	0,00	175,05
4	Rios Pequeno e Barra Grande	121,86	0,00	141,22
5	Rio Taquari	114,66	0,00	114,66
6	Rio Mambucaba	359,00	388,10	747,10
7	Rios Grataú e do Frade	76,26	0,00	76,26
8	Rio Bracuí	91,03	111,79	202,82
9	Rio Ariró	152,25	24,76	177,01
10	Rio do Meio	70,79	0,00	70,79
11	Rio Jacuecanga	65,94	0,00	65,94
12	Rio Jacareí	35,72	0,00	35,72
13	Bacias da Ilha Grande	180,19	0,00	180,19
14	Ilhas	24,29	0,00	24,29
<b>Total</b>		<b>1.757,81</b>	<b>524,65</b>	<b>2.282,46</b>

Fonte: Elaboração própria

Observa-se, pelos quantitativos de áreas apresentados no Quadro 1.1, que a UHP-14 – Ilhas é a de menor área total e, como pode ser observado na Figura 1.1, tem essa área dividida entre diversas ilhas que pertencem aos municípios de Angra dos Reis e Paraty. Além das áreas diminutas e da inexistência de corpos hídricos de grande porte nas Ilhas, a modelagem realizada para o balanço hídrico não possibilita, de forma a se obter resultados consistentes, a estimativa de disponibilidade. Já a UHP-13 – Bacias da Ilha Grande, apresenta a quarta maior área territorial entre as UHPs, trata-se de um território contínuo e possui corpos hídricos relevantes para a avaliação. Apesar de possuir características singulares, foi possível, através de metodologia diferente da utilizada na porção continental, realizar o diagnóstico das disponibilidades hídricas.

Também, é abordada a caracterização quali-quantitativa preliminar das águas subterrâneas da RH-I. Esta caracterização envolve a descrição dos sistemas aquíferos presentes, a favorabilidade hidrogeológica e a disponibilidade hídrica subterrânea.

Foi verificado que a disponibilidade de dados de poços na área de estudo é extremamente baixa. No Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), banco de dados hidrogeológicos da CPRM, encontram-se disponíveis apenas nove poços na RH-I, todos eles



localizados no município de Angra dos Reis. Diante desta limitação, o diagnóstico hidrogeológico para a o PRH-BIG foi realizado com base em dados fisiográficos (geologia, geomorfologia e solos), análise indireta de hidrogramas de águas superficiais e revisão de literatura.

Este relatório é estruturado em dois capítulos, além desta introdução. O primeiro trata da disponibilidade hídrica superficial, tanto da porção continental, quanto da porção da Ilha Grande. O segundo trata da disponibilidade hídrica subterrânea.

O primeiro capítulo é estruturado a partir do seguinte fluxograma: Primeiramente, no item 2.1, é detalhada a metodologia adotada para a realização do estudo de disponibilidade hídrica da porção continental da Baía de Ilha Grande, excluindo-se neste caso a UHP de número 13, referente à Ilha Grande. No item 2.1, ainda, são apresentados aspectos como: (i) período de simulação adotado (ii) dados de entrada utilizados; (iii) técnicas consideradas para realizar a calibração do modelo e; (iv) premissas consideradas para validar o modelo estabelecido para a região de estudo.

É importante destacar que os dados utilizados no diagnóstico da disponibilidade da porção continental possuem uma limitação quanto a sua abrangência territorial, já que as áreas baixas, muito próximas ao mar, são por vezes de difícil detecção, especialmente para modelos de terreno ou de elevação, o que leva a ocorrência de espaços sem dado para alguns temas, que não influenciam de maneira significativa nos resultados, já que são áreas baixas e planas. Opta-se por apresentar nas figuras que compõem este relatório os dados utilizados, sem qualquer complementação, o que ocasiona o aparecimento de algumas áreas “vazias”, que não influenciam de maneira significativa na modelagem e apresentam ao leitor o dado como foi utilizado.

A metodologia adotada para realização do estudo de disponibilidade hídrica da UHP 13 (referente à Ilha Grande), por sua vez, é apresentado no item 2.2. Neste item são destacados aspectos como insumos necessários para a aplicação da metodologia, bem como equações e limitações. No item 2.3, são apresentados os resultados obtidos a partir deste estudo de disponibilidade hídrica superficial para toda área contemplada pelo projeto, sendo dividido em dois sub-itens: Disponibilidade hídrica da porção continental (item 2.3.1) e disponibilidade hídrica da UHP 13 (item 2.3.2). Dessa forma, são apresentados, para a porção continental, os resultados gerados tanto na fase de calibração, como na fase de validação para toda área de estudo. Estes mesmos aspectos são também avaliados no âmbito do estudo de disponibilidade hídrica da Ilha Grande (UHP-13) contemplado a partir da aplicação da técnica de regionalização de vazões. No item 2.3.3 é apresentada uma avaliação dos resultados aqui apresentados para o Diagnóstico de Disponibilidade Hídrica Superficial.



---

O segundo capítulo é composto por dois subitens. O primeiro aborda a caracterização dos sistemas aquíferos na RH-I, que aborda o Sistema Aquífero Cristalino (item 4.1.1) e os Sistemas Aquíferos Sedimentares (item 4.1.2): alúvio-lacustres; cordões, restingas e terraços subterrâneos; e argilas orgânicas costeiras. O segundo trata da disponibilidade hídrica subterrânea propriamente dita, apresentando a estimativa de carga dos aquíferos (item 4.2.1) e a disponibilidade efetiva e instalada (item 4.2.2).

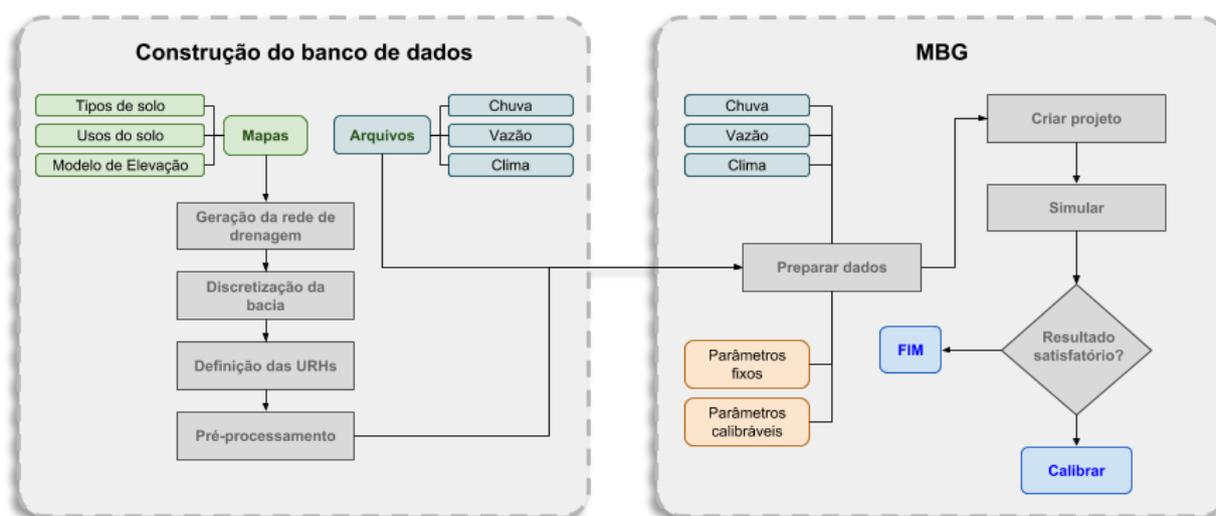


## 2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

### 2.1. PORÇÃO CONTINENTAL DA BAÍA DE ILHA GRANDE

Para a porção continental da Baía de Ilha Grande, utilizou-se o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), em sua versão 4.0, para a geração de vazões de referência na área de estudo. A partir do estabelecimento do modelo para a região, foram obtidas vazões de estiagem como  $Q_7$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{50}$  e  $Q_{mlt}$ , que são deflúvios de suma importância no âmbito do planejamento e gestão de recursos hídricos.

O modelo MGB IPH é um modelo distribuído de larga escala que usa equações físicas e conceituais para simular os processos hidrológicos que acontecem numa bacia. Na mais recente versão, as bacias são divididas em minibacias, de forma que cada uma contém um único trecho de rio, associado a uma planície de inundação e a um balanço vertical de água no solo. Combinações de tipo de solo, uso do solo e vegetação dentro de cada minibacia são caracterizadas como Unidades de Resposta Hidrológica (URH), possibilitando assim a caracterização de regiões homogêneas dentro das bacias simuladas. Dessa forma, trocas de volume d'água são contabilizadas dentro de cada URH presente em cada minibacia. Uma vez caracterizada fisicamente a região de simulação, a partir da utilização de dados de entrada que variam espacialmente e temporalmente, como chuva e clima, o modelo simula processos como o armazenamento de água no solo, evapotranspiração (método de Penman-Monteith), interceptação, infiltração de água no solo, escoamento superficial e subsuperficial. A Figura 2.1 esquematiza o funcionamento do modelo, destacando-se também a existência da fase de calibração do mesmo, a partir de dados observados.



Fonte: Adaptado de Jardim (2017)

Figura 2.1 – Etapas do Modelo MGB



É importante ressaltar que o MGB-IPH não é só contemplado pela representação do processo de transformação de chuva em vazão. Uma etapa importante na geração de resultados de vazão em diferentes locais de uma bacia está atrelada ao cálculo de propagação do escoamento ao longo dos cursos hídricos simulados. Neste sentido, segundo Paiva *et al.*, (2013), várias metodologias de cálculo (oriundas de simplificações das Equações de Saint Venant), podem ser adotadas para representar este processo. Entre elas, destacam-se: (i) Onda Cinemática; (ii) Modelos tipo Muskingum Cunge; (iii) Modelos de Onda Difusiva; (iv) Modelos Inerciais e (v) Modelos Hidrodinâmicos. No âmbito deste trabalho, considerou-se o modelo de propagação de Muskingum-Cunge como suficientemente acurado para representar a propagação do escoamento entre os trechos de cursos hídricos mapeados.

Ainda, no âmbito da consolidação de técnicas de simulação hidrológica para obtenção de vazões de referência, a primeira variável a ser estabelecida é referente ao período de simulação. Dessa forma, para este projeto considerou-se o período compreendido entre 1980 e 2010 para o estabelecimento das simulações hidrológicas. Esse período foi estipulado por apresentar o maior número de observações diárias em todos os postos fluviométricos considerados neste estudo (que são mais bem detalhados no decorrer do relatório).

Nos próximos itens são apresentados os dados de entrada utilizados nas simulações realizadas, bem como o processo de calibração e de validação do modelo.

### 2.1.1. DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS

Os dados de entrada utilizados na simulação hidrológica realizada são referentes, principalmente, a: (i) Representação topográfica do terreno, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE); (ii) Parâmetros referentes ao tipo de solo; (iii) Parâmetros referentes ao uso do solo; (iv) Dados Climatológicos e; (v) Dados de precipitação.

A partir da definição destes dados de entrada e constituição do modelo, os resultados do mesmo podem ser, então, comparados com dados de estações fluviométricas que por ventura existam na bacia. A seguir, cada um dos dados de entrada é mais bem explicado.

#### 2.1.1.1. Representação topográfica

O Modelo Digital de Elevação utilizado para representar a topografia das bacias foi o MDE ALOS PALSAR, com 12,5 metros de resolução espacial (JAXA, 2007).

Deve ser aqui ressaltado que o MDE ALOS PALSAR foi utilizado para caracterizar a topografia da região devido ao fato de que o dado topográfico em escala 1:25.000 do ERJ (IBGE, 2016) não é constituído para a porção paulista de algumas sub-bacias foco de estudo. Dessa



forma, as UHPs 6, 8 e 9 não seriam totalmente caracterizadas por esse produto. Ainda, percebeu-se, após sucessivas tentativas de compatibilização entre estes diferentes produtos altimétricos (para a porção paulista das UHPs 6, 8 e 9), que a opção que geraria menor erro no produto final seria a utilização do MDE ALOS PALSAR para toda a área de estudo.

Portanto, a partir da adoção deste MDE para representar a topografia da região, foi possível - a partir do pacote de pré-processamento de dados do MGB, *IPH Hydrotools* (Siqueira *et al*, 2016) - a obtenção de informações topológicas, delimitação dos cursos hídricos e também delimitação de sub-bacias e de minibacias que representam a área de estudo.

Os cursos hídricos foram determinados a partir de uma discretização espacial de 1 km<sup>2</sup>, que resultou na geração de um total de 1.082 minibacias<sup>1</sup> (uma para cada trecho de rio<sup>2</sup>), especializadas dentro de 92 sub-bacias que drenam diretamente para o mar.

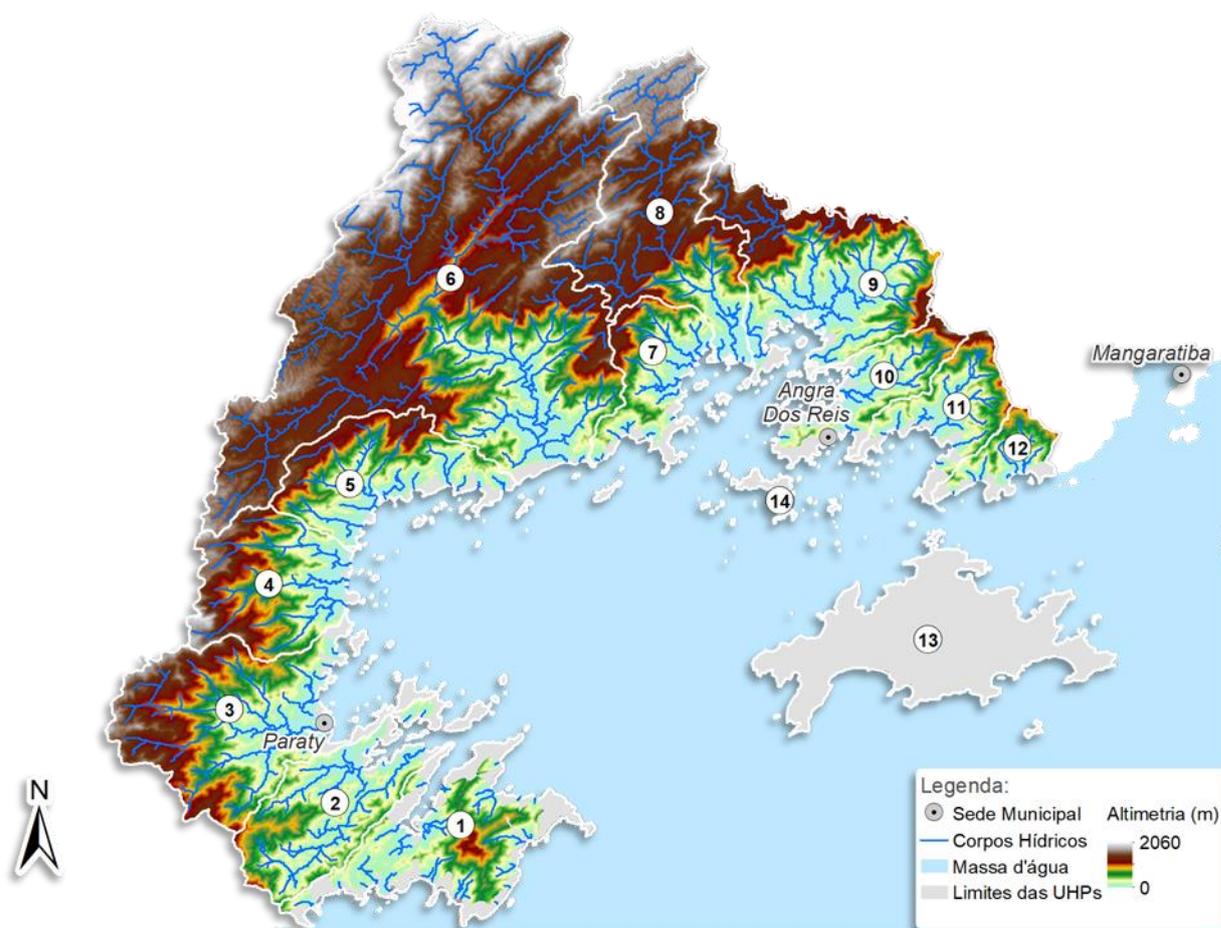
A topografia da região, em conjunto com os cursos hídricos obtidos, é apresentada na Figura 2.2, enquanto que as minibacias e sub-bacias são apresentadas na Figura 2.3.

Deve-se destacar que a discretização das áreas não abrange a totalidade das Unidades Hidrológicas de Planejamento devido às limitações dos dados de entrada utilizados, especialmente o dado de altimetria, que não possui informações para as áreas baixas e planas em contato com o mar. Além disso, observa-se também que a discretização das sub-bacias da Baía da Ilha Grande não é realizada para a UHP 13, uma vez que as vazões desta UHP serão obtidas a partir de outro método que será apresentado posteriormente neste relatório.

---

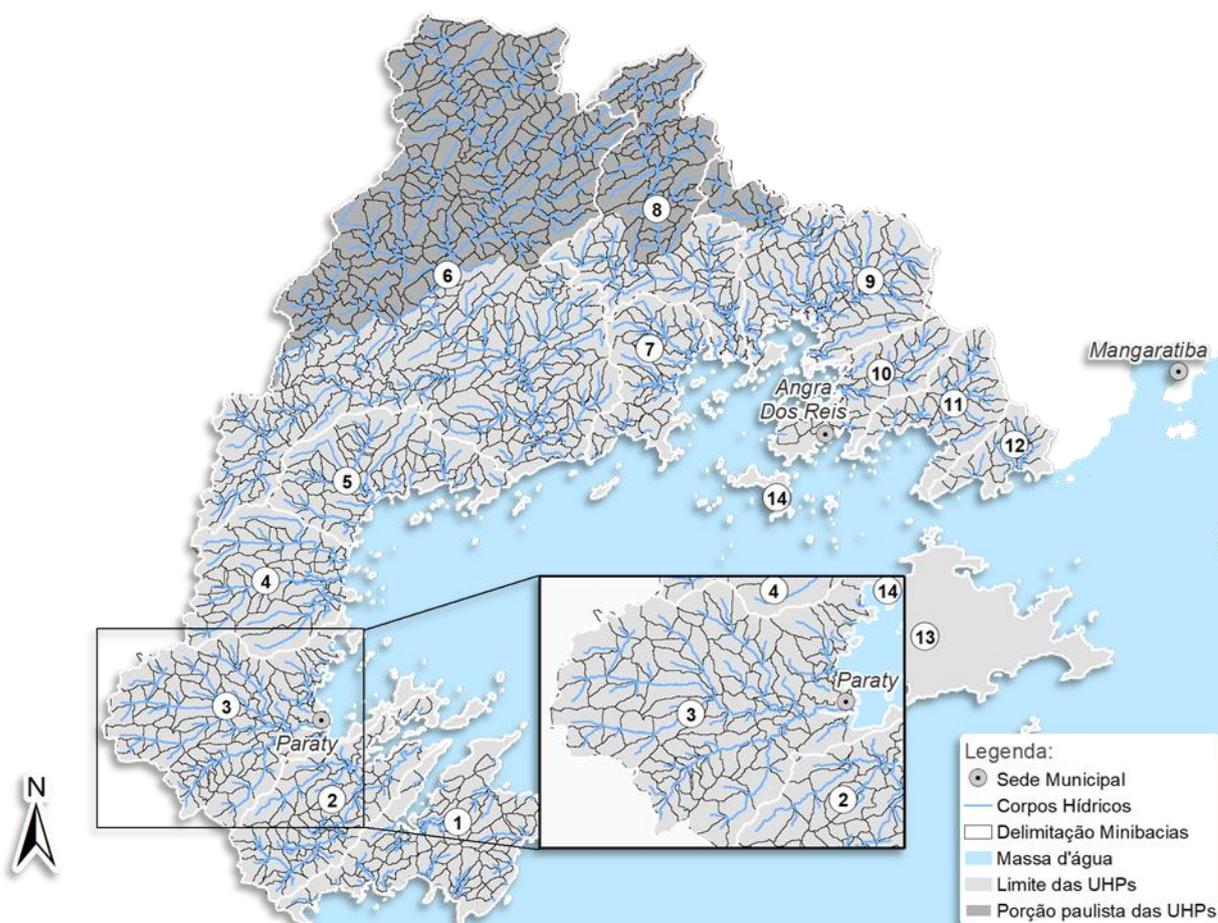
<sup>1</sup> Minibacia é o nome dado para a menor sub-bacia considerada no âmbito de um estudo de simulação hidrológica.

<sup>2</sup> Trecho de Rio é o nome dado a um trecho de curso hídrico localizado entre duas confluências, uma confluência e uma nascente ou uma confluência e uma foz.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.2 – Modelo Digital de Elevação utilizado neste estudo



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.3 – Sub-Bacias e Minibacias obtidas

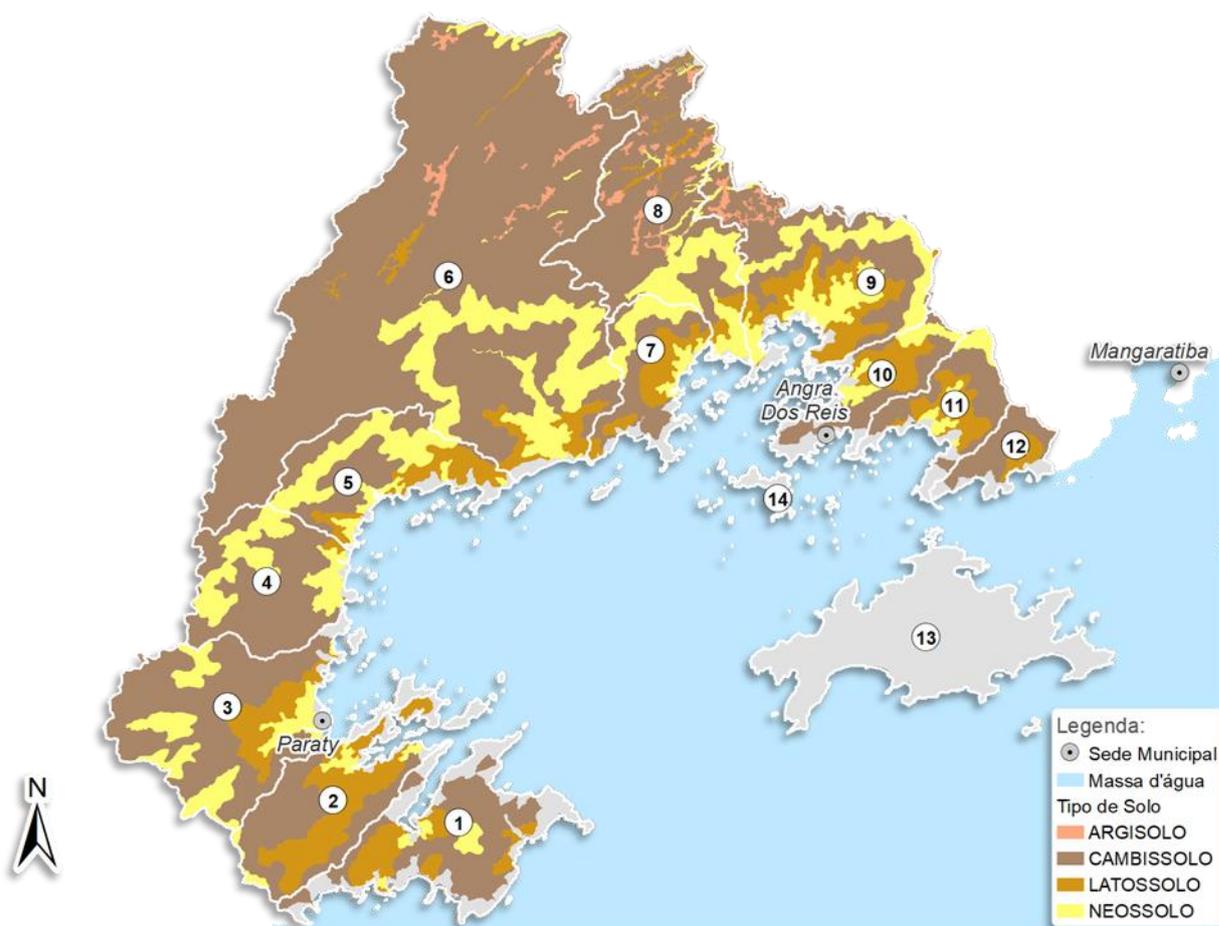
#### 2.1.1.2. Parâmetros referentes ao tipo de solo

No âmbito da simulação hidrológica, informações relativas ao tipo de solo são de extrema importância na constituição do modelo, uma vez que solos diferentes apresentam diferentes características quanto a taxas de infiltração e armazenamento, o que tem relação direta com o hidrograma gerado para jusante. Em geral, uma bacia com solos profundos e bem drenados tende a gerar menor escoamento superficial que bacias com solos rasos e mal drenados (obviamente, essa comparação é válida quando as outras condições de contorno do problema são iguais). Dentre a categoria de solos profundos e bem drenados, por exemplo, podem ser destacados os latossolos, argissolos e chernossolos, uma vez que os mesmos apresentam uma tendência a gerar menos escoamento superficial do que cambissolos e neossolos, por exemplo (Collischonn, 2001).

Para a porção do RJ, os tipos de solo foram analisados no âmbito deste Plano (RAMOS, 2011), entretanto para as informações relativas a porção Paulista, foi utilizado o trabalho de Rossi (2017). Na Figura 2.4 são apresentados os tipos de solo simplificado para as bacias, de forma



que se percebe a presença majoritária de 4 tipos de solo: Argissolo, Cambissolo, Latossolo e Neossolo. Considerando o exposto, Latossolo e Argissolo são considerados como “Profundos”, ao passo que Neossolos e Cambissolos são considerados como “Rasos”. Majoritariamente, a RH-1 é composta por solos “rasos” (Cambissolos e Neossolos).



Fonte: Adaptado de Ramos (2011) e Rossi (2017)

Figura 2.4 – Tipos de Solo utilizados no âmbito das simulações

O Quadro 2.1 apresenta a distribuição dos tipos de solo por UHP.



Quadro 2.1 – Distribuição dos tipos de solo por UHP

UHP	Argissolo	Cambissolo	Latosolo	Neossolo
Ponta da Juatinga	0,0%	66,0%	26,6%	7,4%
Rio Ariró	2,8%	42,1%	21,6%	33,5%
Rio Bracuí	5,4%	69,6%	5,4%	19,6%
Rio Jacareí	0,0%	79,5%	20,5%	0,0%
Rio Jacuecanga	0,0%	53,3%	29,4%	17,3%
Rio Japuíba	0,0%	47,3%	30,5%	22,2%
Rio Mambucaba	1,6%	83,0%	2,7%	12,7%
Rio Paraty-Mirim	0,0%	51,1%	42,2%	6,8%
Rio Perequê-Açú	0,0%	64,6%	12,4%	23,0%
Rio Taquari	0,0%	43,9%	18,9%	37,1%
Rios Grataú e do Frade	0,0%	44,2%	29,1%	26,7%
Rios Pequeno e Barra Grande	0,0%	67,9%	1,1%	31,0%
<b>Total Geral</b>	<b>1,4%</b>	<b>67,3%</b>	<b>12,5%</b>	<b>18,8%</b>

Fonte: Adaptado de Ramos (2011) e Rossi (2017)

### 2.1.1.3. Parâmetros referentes ao uso de solo

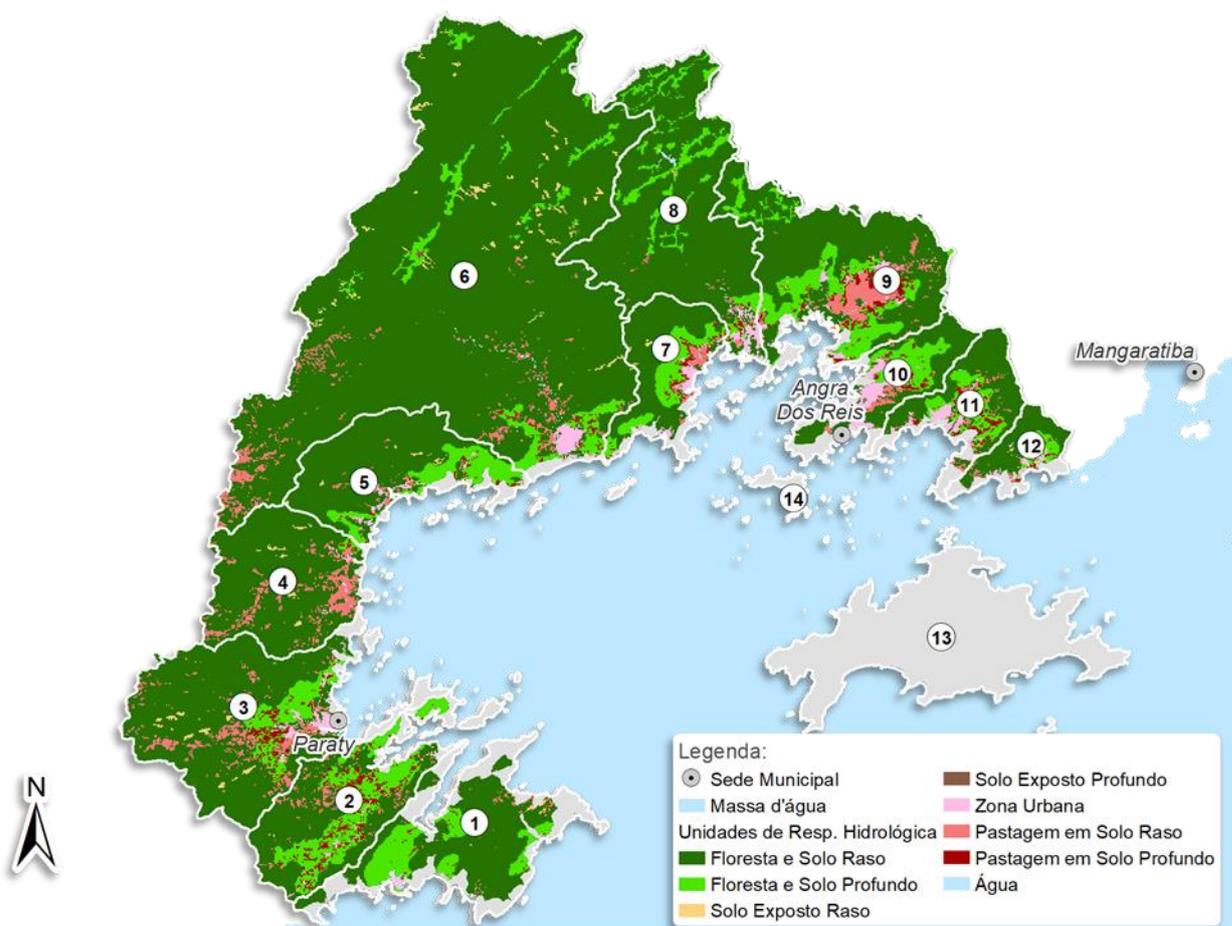
A discretização do uso do solo na bacia também é de extrema importância para a correta estimativa de processos de transformação de chuva em vazão. É empírico perceber, por exemplo, que áreas urbanas tendem a gerar maiores deflúvios do que áreas de florestas, devido principalmente à impermeabilização do solo. Dessa forma, estas informações foram consolidadas no âmbito das bacias estudadas, utilizando duas fontes de dados. Para a porção do RJ, estas informações foram estimadas no âmbito deste Plano (INEA, 2015), entretanto para as informações relativas a porção Paulista, foi utilizado o trabalho realizado pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Governo do Estado de São Paulo (AMBIENTESP, 2013). Na Figura 2.5 é apresentado o Uso do Solo nas bacias estudadas, em que se observa o uso majoritário de 4 classes, além dos recursos hídricos: Florestas, Pastagens, Solo Exposto e Uso Urbano.



Fonte: Adaptado de Inea (2015) e AMBIENTESP (2013)

Figura 2.5 – Uso de Solo utilizado no âmbito das simulações

A partir da sobreposição de ambos os mapas de solo apresentados, é possível a obtenção de um mapa de URH. A obtenção deste tipo de produto é de extrema importância no âmbito da simulação hidrológica, uma vez que se atribui respostas hidrológicas idênticas à cada classe de URH, independentemente de onde essa classe se encontra. As unidades consideradas, portanto, foram: (i) Floresta em Solo Raso; (ii) Floresta em Solo Profundo; (iii) Solo Raso Exposto; (iv) Solo Profundo Exposto; (v) Zona Urbana; (vi) Pastagem em Solo Raso; (vii) Pastagem em Solo Profundo e; (viii) Águas. Este resultado é apresentado na Figura 2.6.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.6 – Unidades de Resposta Hidrológica

#### 2.1.1.4. Dados climatológicos

Os dados climatológicos considerados no modelo são utilizados para o cálculo da evapotranspiração. Eles são constituídos majoritariamente de: (i) temperatura; (ii) umidade relativa do ar; (iii) velocidade do vento; (iv) pressão atmosférica e; (v) insolação. Estes dados podem ser obtidos diretamente de estações climatológicas localizadas próximas ao local de estudo, de forma que os valores obtidos (de temperatura, por exemplo) são interpolados para as minibacias computadas, levando em consideração a distância que as mesmas se encontram das estações. Dessa forma, é possível a obtenção de séries históricas de dados climatológicos para cada minibacia da área de estudo.

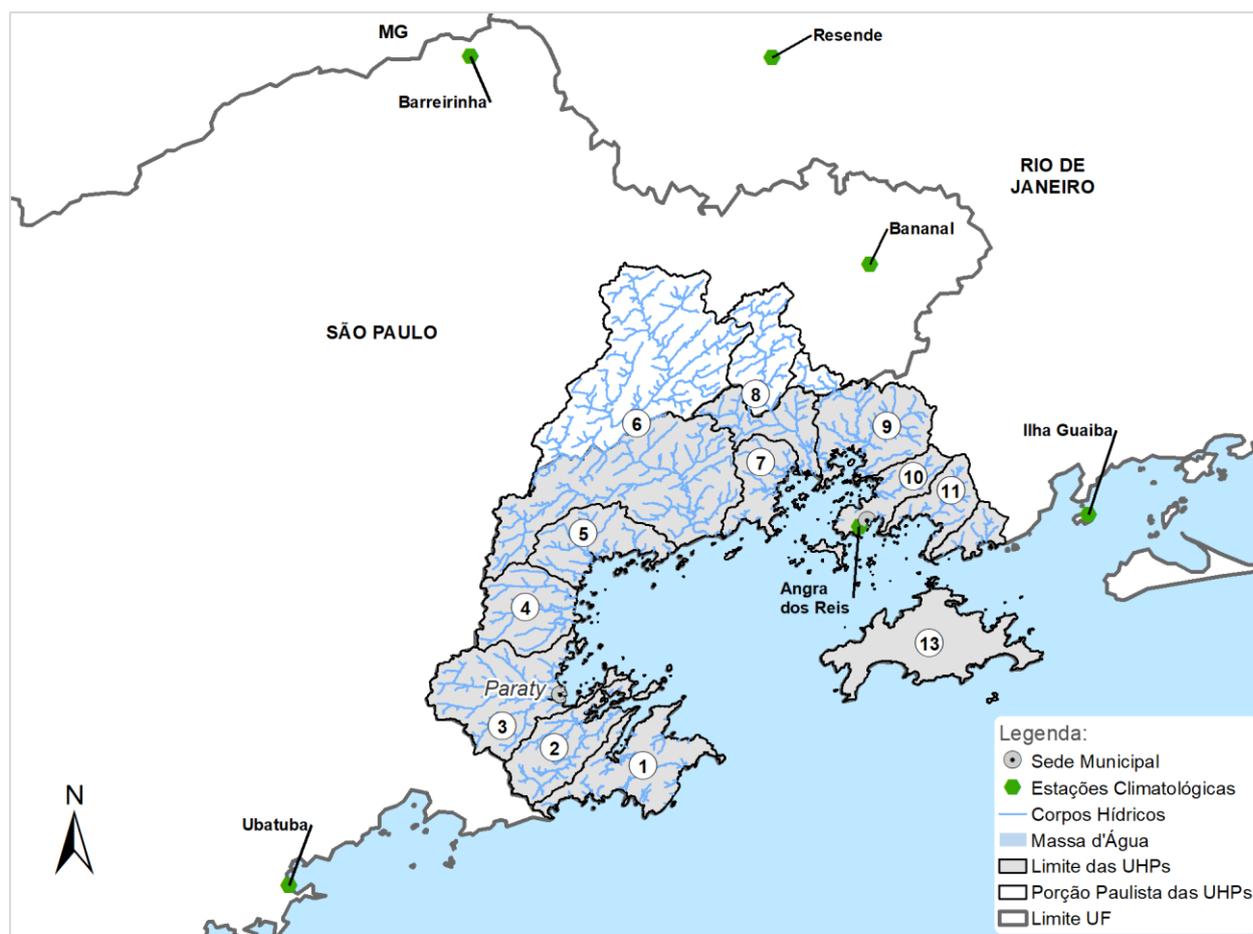
Especificamente para a área simulada, foram utilizadas as normais climatológicas (que consideram 30 anos de dados) para 6 estações climatológicas localizadas próximas da área de estudo (obtidas a partir do INMET). Nomes, códigos e localizações das mesmas se encontram no Quadro 2.2 e na Figura 2.7.



Quadro 2.2 – Estações Climatológicas utilizadas neste projeto

Nome	Código	Latitude	Longitude
Ubatuba	00083786	-45,067	-23,45
Barreirinha	00083752	-44,833	-22,45
Resende	00083738	-44,433	-22,45
Bananal	00083712	-44,317	-22,7
Ilha Guaíba	00083758	-44,033	-23
Angra dos Reis	00083788	-44,317	-23,017

Fonte: Adaptado de INMET (2018)



Fonte: Elaboração própria

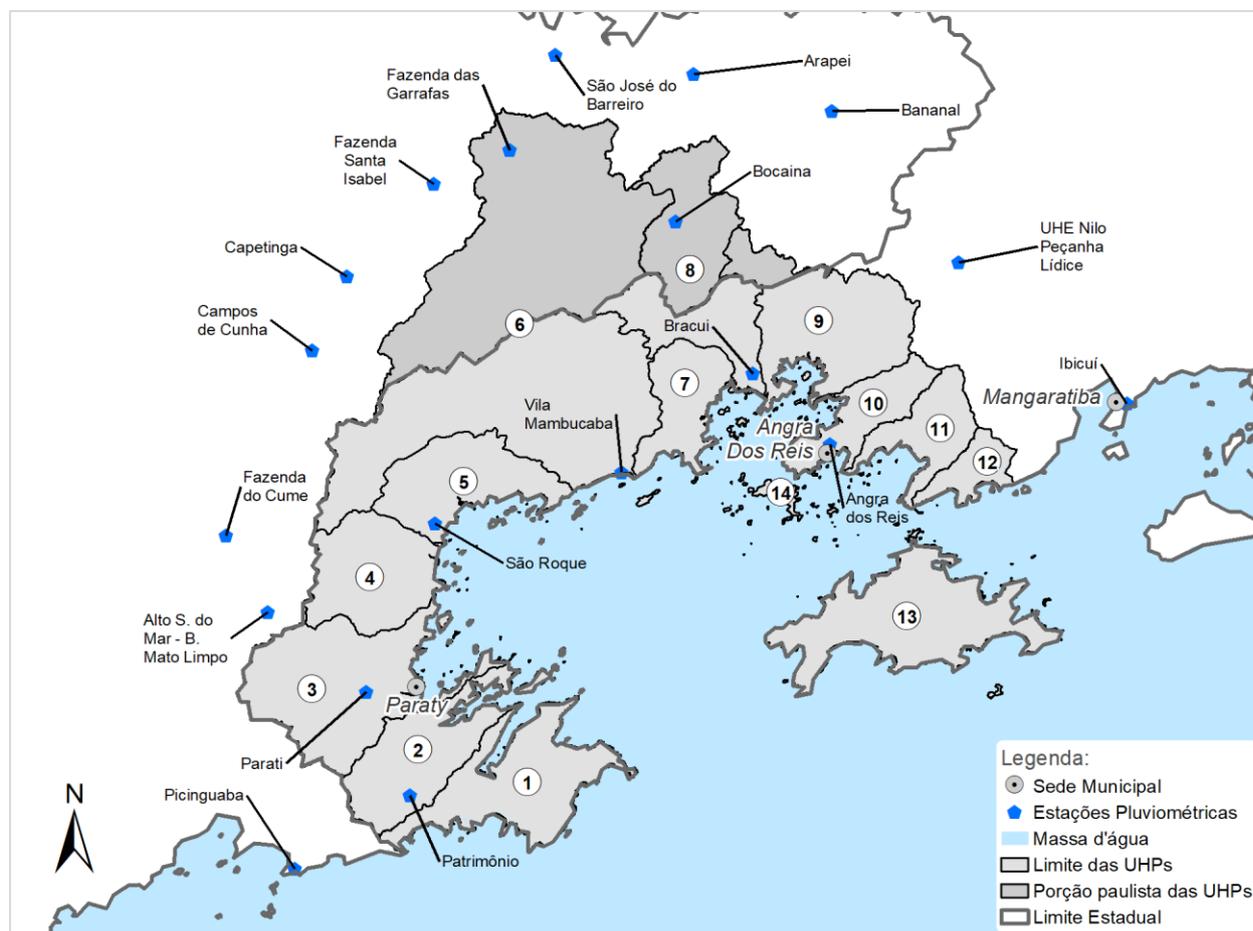
Figura 2.7 – Estações Climatológicas

#### 2.1.1.5. Dados de precipitação

Os dados de precipitação são caracterizados por séries diárias de chuva para diversos postos pluviométricos localizados ao longo das bacias hidrográficas estudadas. Estes dados, obtidos pontualmente para cada estação, são então interpolados pelo modelo, utilizando *Inverse Distance Weighting* (IDW - ponderação pelo inverso da distância em tradução livre), de forma a criar chuvas diárias com variação espacial ao longo das sub-bacias. Para a simulação apresentada neste relatório, foram consideradas séries históricas diárias de 19 estações



pluviométricas obtidas a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas, disponibilizados através do Hidroweb (ANA, 2018), apresentadas na Figura 2.8.



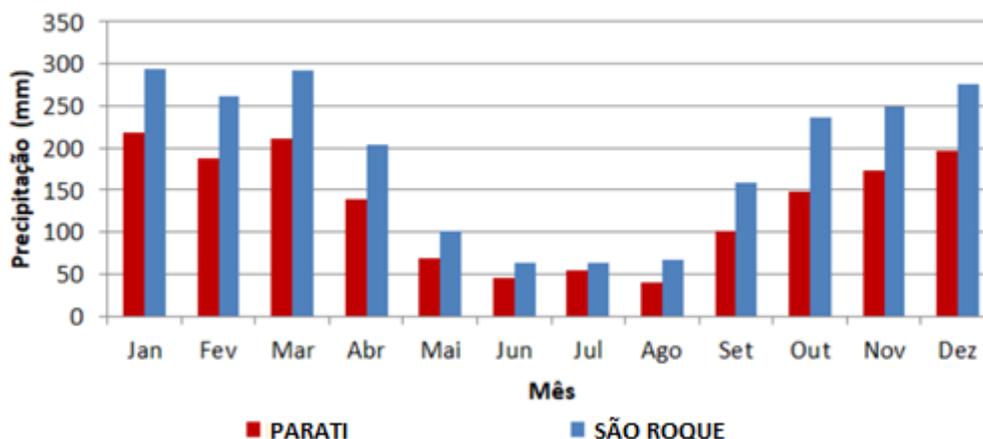
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.8 – Estações Pluviométricas utilizadas no âmbito das simulações

Quanto ao volume precipitado na RH-I, ressalta-se que, embora a área de estudo seja relativamente pequena, a variabilidade observada na precipitação média mensal (e consequentemente anual) é consideravelmente alta. Na Figura 2.9, por exemplo, é possível observar as precipitações médias mensais para dois postos pluviométricos distantes apenas 19 km. No Posto 234408 (São Roque), a média anual é de 2264,8 mm para o período compreendido entre 1980 e 2010. Enquanto isso, para o Posto 2344007 (Parati), a média anual para o mesmo período é de apenas 1.572 mm, o que corresponde a 69% do volume precipitado em São Roque para o período estudado. Estas diferenças, observadas também entre os demais postos pluviométricos estudados, tem possivelmente relação direta com o microclima da região, representado por chuvas orográficas e correntes marítimas locais.



## Precipitações Médias (1980 - 2010)



Fonte: Adaptado de ANA (2018)

Figura 2.9 – Diferença entre precipitações médias mensais nas Estações Parati e São Roque

Sabe-se que um dos principais condicionantes da vazão obtida em determinado curso hídrico é referente à chuva (e também o regime) que cai sob a bacia hidrográfica de montante. Resumidamente, essa influência é percebida na equação de balanço hídrico (Colischonn & Dorneles, 2013), aplicada para um período de tempo extenso o suficiente:

$$Q = P - E \quad (1)$$

Em que “Q” é a vazão, em mm/ano; “P” é a precipitação, em mm/ano e; “E” é a Evapotranspiração, em mm/ano.

Tendo em vista a influência direta que a chuva exerce sobre as vazões geradas, apresentam-se na Figura 2.10 as chuvas médias anuais calculadas pelo modelo MGB para a área de estudo, considerando os dados diários de chuva das estações anteriormente apresentadas. Observa-se, nesse sentido, que a variabilidade da média anual de precipitação para a área de estudo é consideravelmente grande, podendo a mesma variar em torno de 1.600 mm à 2.500 mm anuais nas grandes sub-bacias que compõe a RH-I.

Destaca-se, aqui, que a menor média observada foi na UHP 3 - Rio Perequê-Açú. Nesta bacia o modelo calculou uma precipitação média anual de 1.601 mm, corroborando com os dados da estação localizada exatamente ao centro da bacia que apontam para uma precipitação média de 1.572 mm. Por esse resultado, foi realizada uma análise de consistência da estação Parati, que é apresentada no ANEXO I, que não indicaram qualquer incorreção nas observações da estação. De qualquer forma o PRH recomendará a instalação de uma nova estação para avaliar se os resultados obtidos se dão por ocorrência de micro clima ou por esse sistêmico do monitoramento.

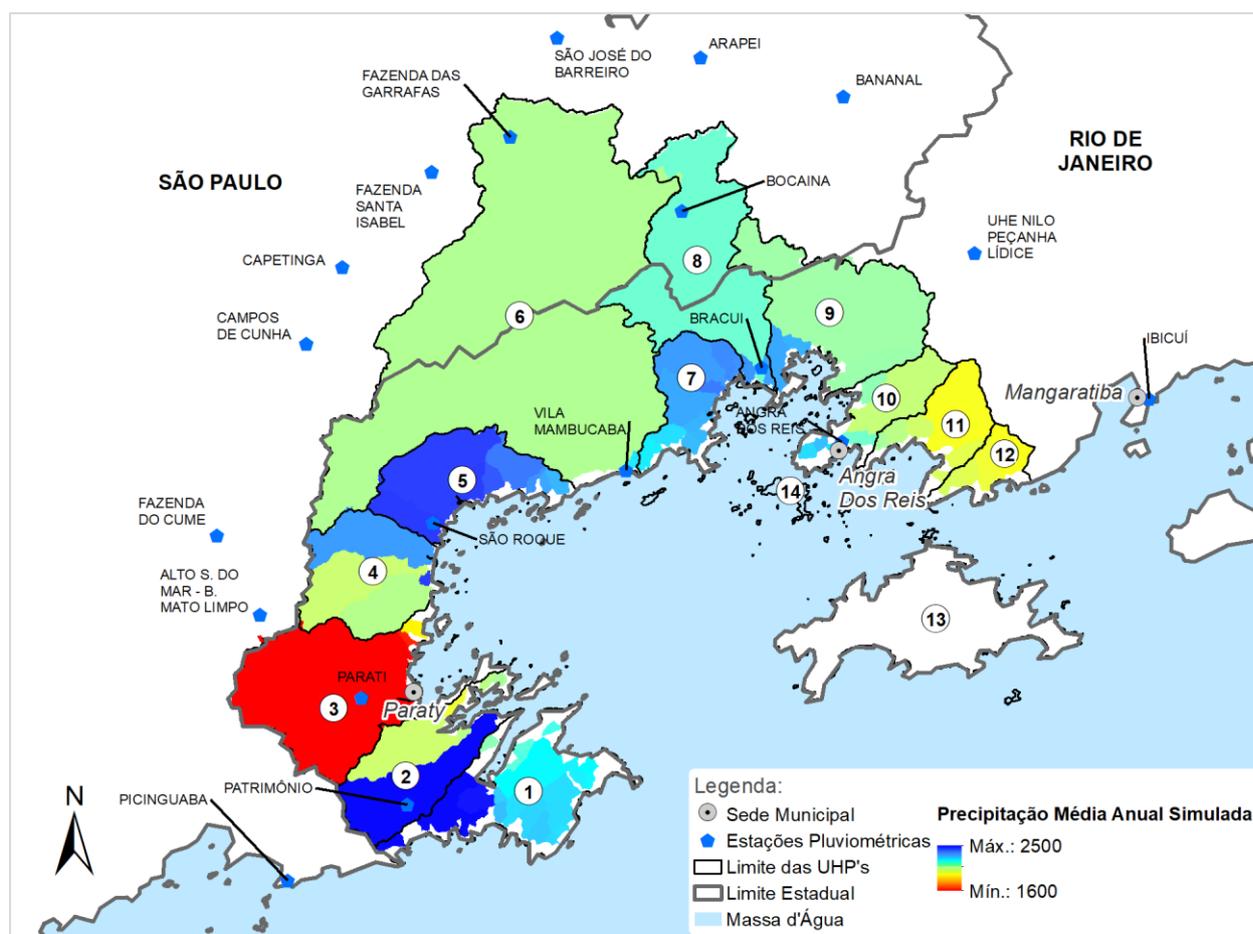


Figura 2.10 – Chuvas Médias Anuais simuladas para diferentes áreas da Baía da Ilha Grande

## 2.1.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO

Uma vez consolidados todos os dados de entrada no modelo, conforme apresentado no item anterior, procedeu-se com a simulação e a calibração. Este processo é abordado pormenorizadamente nos itens que seguem.

### 2.1.2.1. Princípios metodológicos

A calibração de um modelo hidrológico é realizada comparando-se os dados calculados com dados observados em estações fluviométricas existentes na área de estudo. Nesse sentido, os principais aspectos observados são a curva de permanência e o hidrograma obtido. A curva de permanência permite que seja identificado, num único gráfico, quais são as vazões de estiagens, vazões médias e vazões máximas. Enquanto isso, o hidrograma permite que a série fluviométrica simulada seja diretamente comparada com a série fluviométrica real, medida em campo.



O processo de calibração do MGB passa majoritariamente pelo ajuste de alguns parâmetros, que podem variar dentro de uma faixa de valores esperada. Os parâmetros, com a faixa de variação, e o significado de cada um, são exemplificados no quadro a seguir.

Quadro 2.3 – Parâmetros de Calibração do Modelo MGB

Parâmetro	Valores	Significado
WM	50 - 1000	Capacidade de Armazenamento do Solo
b	0,12 - 1,6	Correlação entre o armazenamento e saturação do solo
Kbas	0,05 - 5	Controla a vazão durante a estiagem
Kint	4 - 40	Controla a quantidade de água na camada do solo
XL	0,5 - 0,8	Controla o perfil da redução da curva de água na superfície
CAP	0	Controla a vazão do reservatório de subsolo
WC	0,1	Parâmetro de armazenamentos residuais
CB	1200 - 8000	Parâmetro do reservatório linear simples
QB	0,005 - 0,02	Vazão de base do início da simulação
CS	1 - 20	Parâmetro de calibração do espalhamento da superfície
CI	50 - 200	Parâmetro de calibração do espalhamento da sub-superfície

Fonte: Adaptado de Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn et al (2001)

A avaliação sobre a qualidade do acoplamento das curvas simuladas e das curvas observadas é realizada a partir do coeficiente de eficiência Nash e Sutcliffe, que é um dos parâmetros frequentemente utilizados na avaliação do desempenho de modelos hidrológicos, e também do logaritmo deste coeficiente, tipicamente utilizado para avaliar o acoplamento de vazões de estiagem. Muitas vezes o parâmetro BIAS, referente à quantificação do erro quanto ao volume, também é considerado.

As fórmulas a seguir apresentam estes coeficientes de eficiência, em que  $Q_t^{obs}$  são as vazões observadas no tempo t;  $Q_t^{calc}$  são as vazões calculadas no tempo t e  $\overline{Q_t^{obs}}$  é a média das vazões observadas.

Coeficiente ENS:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum(Q_t^{obs} - Q_t^{calc})^2}{\sum(Q_t^{obs} - \overline{Q_t^{obs}})^2} \quad (2)$$

Coeficiente ENSlog:

$$E_{NSlog} = 1 - \frac{\sum(\log Q_t^{obs} - \log Q_t^{calc})^2}{\sum(\log Q_t^{obs} - \log \overline{Q_t^{obs}})^2} \quad (3)$$

Coeficiente BIAS:

$$BIAS = 100 \cdot \left( \frac{\sum X_{sim} - \sum X_{obs}}{\sum X_{obs}} \right) \quad (4)$$



Os valores destes coeficientes variam de 0 a 1, de forma que, segundo Gotschalk e Motovilov (2000) *apud* Collischonn *et al* (2001), valores superiores a 0,36 já são considerados como aceitáveis quanto ao desempenho do Modelo Hidrológico.

#### 2.1.2.2. Dados de vazão observada

Quanto às estações fluviométricas utilizadas, após busca de dados disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), e também pelo Hidroweb, observaram-se três estações com dados disponíveis para o período de simulação estipulado (1980 a 2010): Fazenda Fortaleza (59370000), Fazenda das Garrafas (59355000) e Parati (59380000).

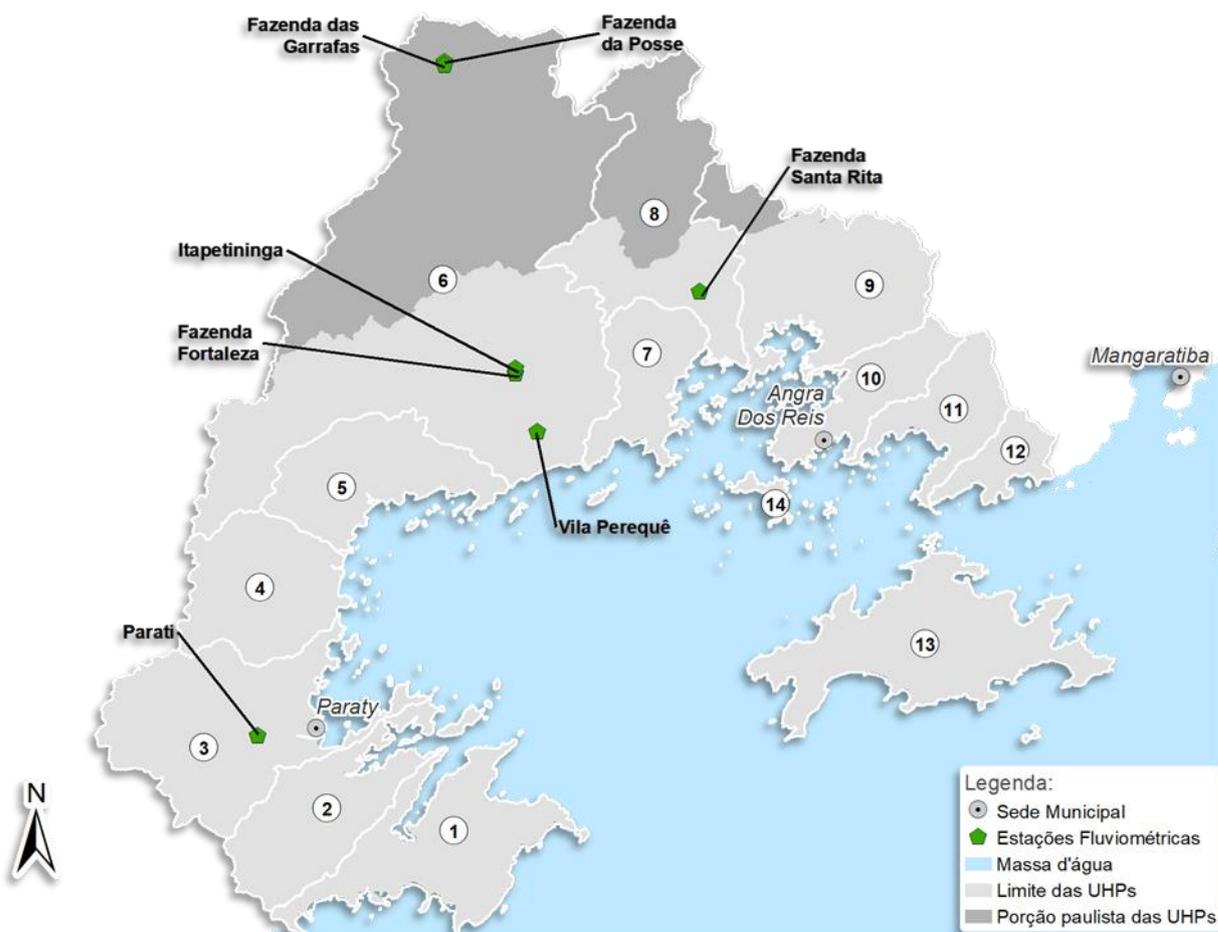
A área de estudo ainda apresenta mais duas estações fluviométricas com dados de vazão obtidos fora do período de simulação estipulado e duas com ausência de dados de vazão: Fazenda da Posse (59360000), Fazenda Santa Rita (59350000), Itapetininga (59372000) e Vila Perequê (59373000). O Quadro 2.4 resume a existência de estações fluviométricas na área de estudo, enquanto a Figura 2.11 apresenta a localização destas estações em conjunto com a hidrografia obtida pelos métodos anteriormente explicados (item 2.1.1.1)

Quadro 2.4 – Estações Fluviométricas existentes na Baía da Ilha Grande

Estação	Código	UHP	Disponibilidade de dados no Hidroweb	Área (km <sup>2</sup> )
Parati	59380000	3	1963 - 2018	79,18
Fazenda das Garrafas	59355000	6	1978 - 2018	23,08
Fazenda Fortaleza	59370000	6	1935 - 2018	639,26
Fazenda da Posse	59360000	6	1967 - 1978	-
Vila Perequê	59370000	6	Nenhum	-
Itapetininga	59372000	6	Nenhum	37,52
Fazenda Santa Rita	59350000	8	1978 - 1978	187,69

Fonte: Adaptado de ANA (2018)

Uma análise das curvas chaves das estações utilizadas é apresentada no ANEXO II.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.11 – Croqui de Localização e de Dados utilizados no estudo

Dessa forma, de posse de 3 estações fluviométricas com dados diários de vazão, optou-se por realizar a calibração do modelo com duas estações (Parati - 59380000, com área de drenagem igual a 79 km<sup>2</sup> e Fazenda Fortaleza - 59370000, com área de drenagem igual a 639,26 km<sup>3</sup>) e utilizar uma terceira (Fazenda das Garrafas - 59355000, com área de drenagem igual a 23,08 km<sup>2</sup>) para realizar a validação dos resultados. Ressalta-se que, com esse processo metodológico adotado, avaliou-se diretamente como o MGB está representando bacias de pequena área de drenagem na região de estudo (como as minibacias, que podem ter áreas da ordem de 20 km<sup>2</sup>).

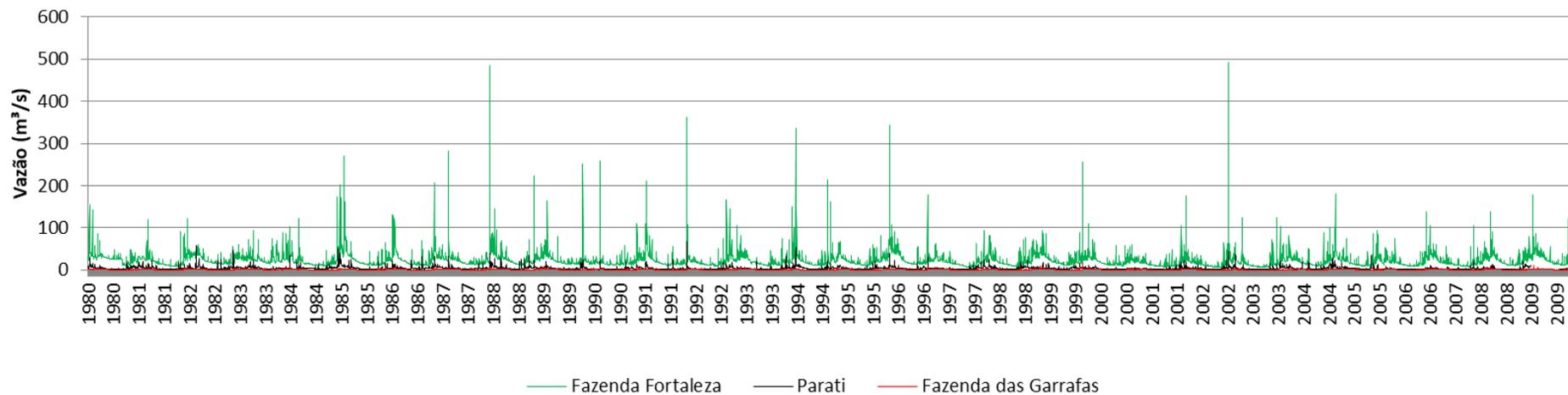
A seguir, na Figura 2.12, são apresentados os hidrogramas para as três estações de forma conjunta em único gráfico, que tem a finalidade de mostrar a diferença de magnitude de vazão. Buscando uma melhor visualização dos resultados, na Figura 2.13, Figura 2.14 e Figura 2.15 são apresentados os hidrogramas de forma separada, e na Figura 2.16, Figura 2.17 e Figura 2.18 são apresentadas separadamente as curvas de permanência de cada uma das estações,



---

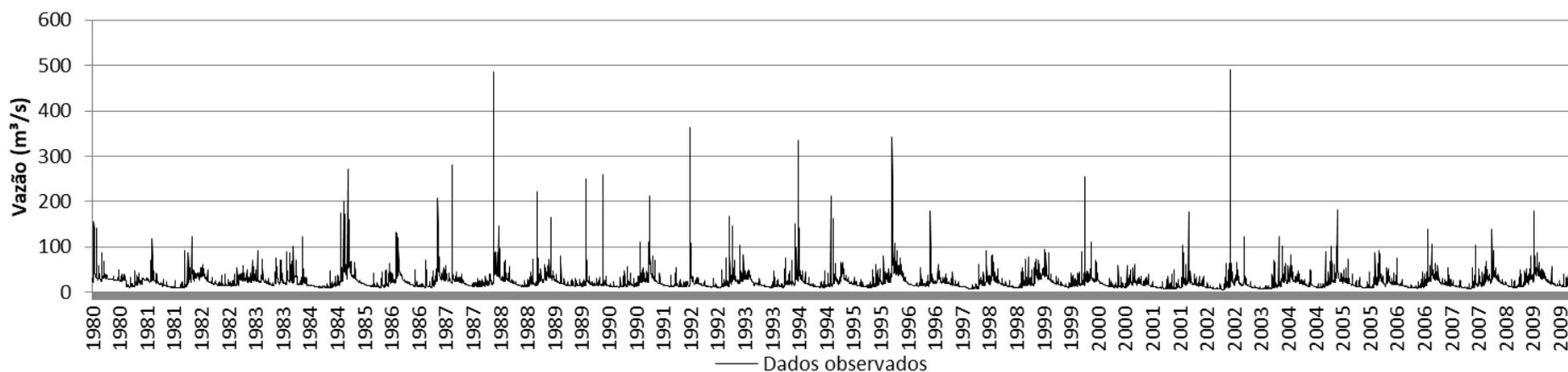
podendo ser avaliados, dessa forma, valores estatísticos de vazões para cada estação fluviométrica.

Ressalta-se, por fim, que todos os dados aqui apresentados são referentes apenas ao período utilizado na simulação: 1980 a 2010.



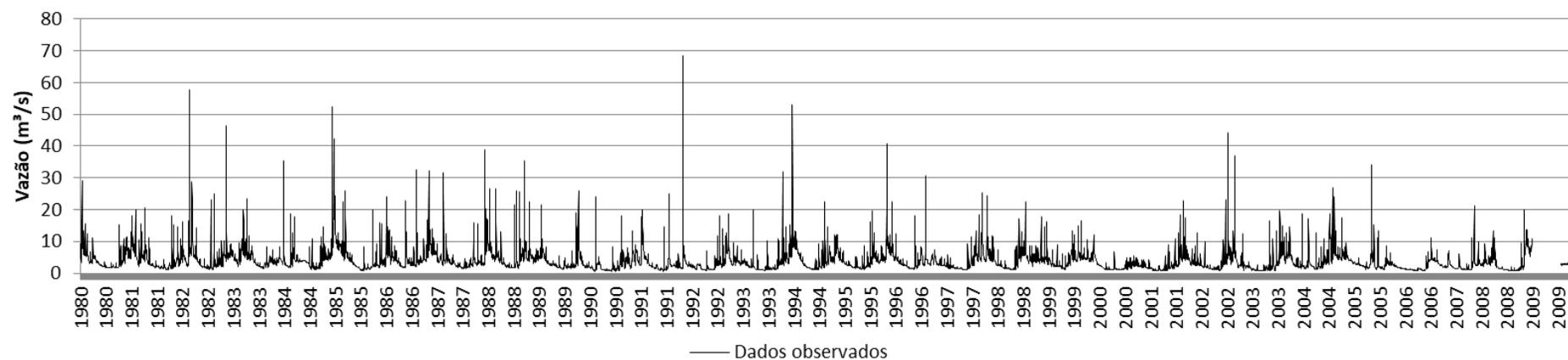
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.12 – Hidrogramas das três estações utilizadas



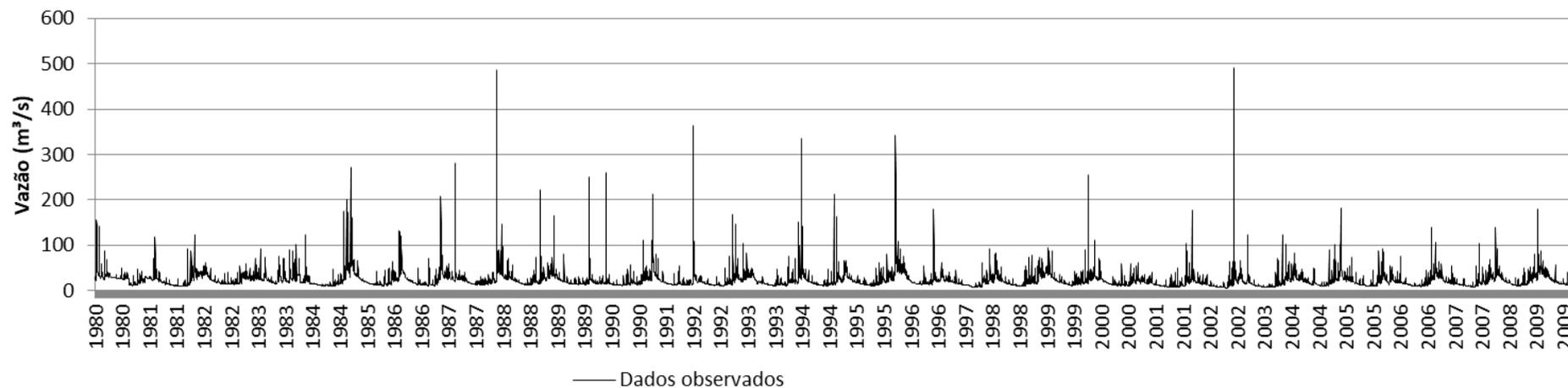
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.13 – Hidrograma da Estação Fazenda Fortaleza



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.14 – Hidrograma da Estação Parati



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.15 – Hidrograma da Estação Fazenda das Garrafas

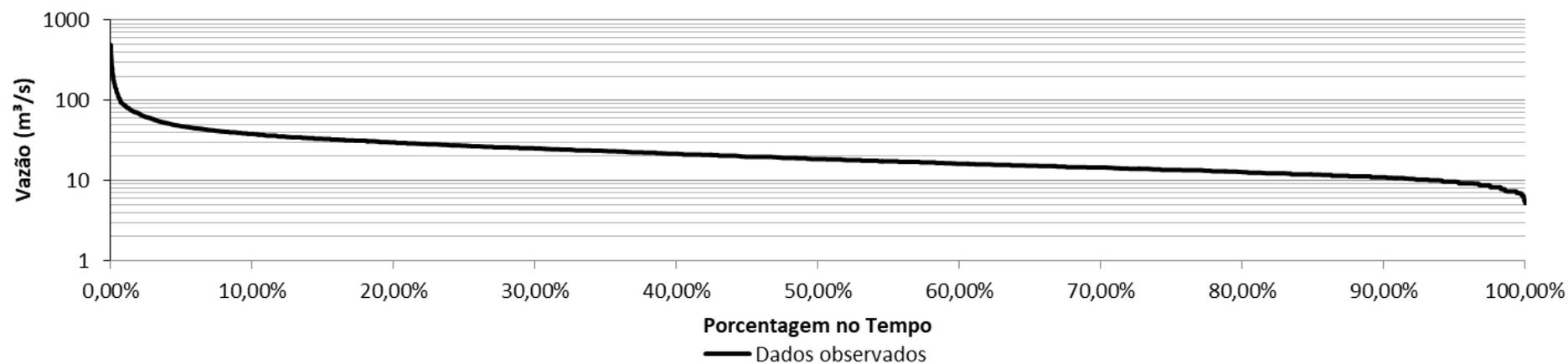


Figura 2.16 – Curva de Permanência da Estação Fazenda Fortaleza

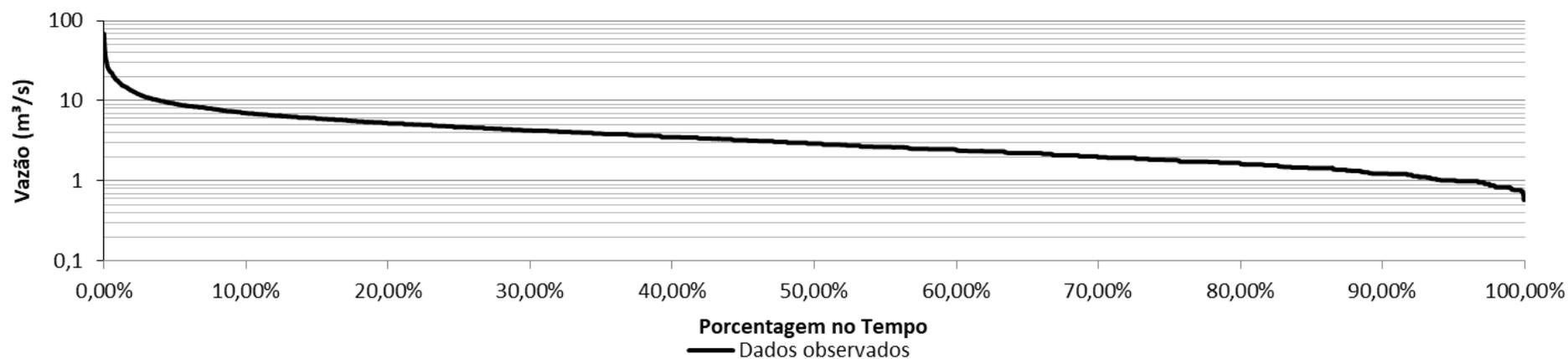
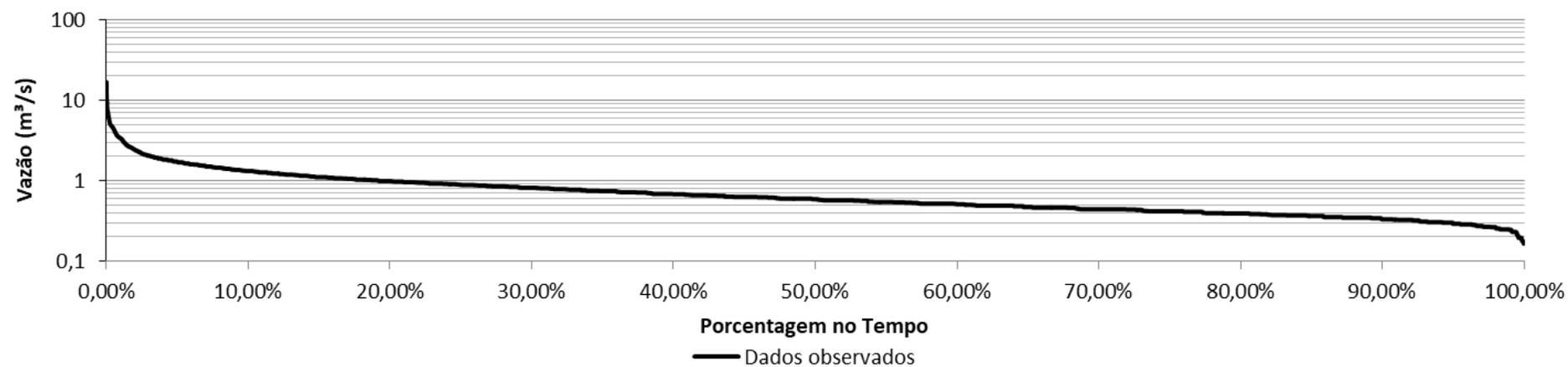


Figura 2.17 – Curva de Permanência da Estação Parati



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.18 – Curva de Permanência da Estação Fazenda das Garrafas



### 2.1.2.3. Regionalização dos parâmetros de solo

A aplicação de modelos hidrológicos chuva-vazão em regiões que drenam diretamente para o oceano em forma de baías (como no caso em questão) resulta na particularidade referente à desconexão entre as regiões hidrográficas que fazem parte da região de projeto. Diferentemente de projetos realizados para uma grande bacia hidrográfica com apenas 1 exutório, essa particularidade exige que técnicas diferentes relativas à calibração do modelo sejam adotadas, uma vez existente essa desconexão que impossibilita a calibração direta e conjunta de todas as sub-bacias presentes na área de estudo.

Dessa forma, após diversas avaliações, encontrou-se como alternativa, para maximizar a coerência do modelo hidrológico, o que aqui se chamou de “regionalização dos parâmetros do solo”, que foi adotada após a realização da etapa de calibração para as sub-bacias referentes às duas estações fluviométricas escolhidas (Parati e Fazenda Fortaleza). A metodologia utilizada para regionalizar os parâmetros de solo foi, sucintamente, a seguinte:

Para a sub-bacia drenante à Estação Fazenda Fortaleza observou-se que 90% da área era composta por floresta. Enquanto isso, para a sub-bacia da Estação Parati, observou-se que 78% da área drenante era composta por floresta. Dessa forma, a área drenante para a Estação Parati pode ser considerada como “mais heterogênea” do que a área drenante para a Estação Fazenda Fortaleza. Sendo assim, considerou-se que toda a sub-bacia com mais de 90% da área composta por floresta teria parâmetros (apresentados no Quadro 2.3) similares aos parâmetros adotados para a bacia da estação Fazenda Fortaleza. Enquanto isso, para as bacias que tem menos de 90% da área composta por floresta, os parâmetros de solo e vegetação seriam similares ao da bacia drenante para a Estação Parati.

Ressalta-se que esta consideração é relativa apenas à resposta hidrológica que determinada classe de solo gera, quanto à vazão. Dessa forma, embora existam apenas dois conjuntos de parâmetros de calibração do solo (ou dois tipos de resposta para uma mesma classe de solo), pois apenas duas sub-bacias foram calibradas, existem 92 diferentes tipos de espacialização destes tipos de solos, um para cada sub-bacia. Dessa forma, respostas de vazão diferentes para cada sub-bacia são esperadas.

### 2.1.3. VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação da simulação hidrológica realizada é embasada na comparação entre os resultados obtidos e dados medidos em campo, para locais (ou bacias) em que não houve calibração. Nesse sentido, a validação dos resultados é baseada nas seguintes comparações:



- Comparação entre a série simulada e a série observada no local da Estação Fazenda das Garrafas - 59355000;
- Comparação entre vazões de referência simuladas e observadas no local da Estação Fazenda Santa Rita (59350000), utilizando dados obtidos em Francisco (2004);
- Comparação entre vazões de referência simuladas e observadas no local da Estação Itapetininga (59372000), utilizando dados obtidos em Francisco (2004);
- Comparação global entre vazões obtidas pelo modelo e vazões obtidas por Francisco (2004) para todos os locais possíveis.

O trabalho de Francisco (2004) avaliou a disponibilidade hídrica da Baía da Ilha Grande considerando as estações fluviométricas da região, utilizando alguns dados que, inclusive, hoje se encontram indisponíveis, como dados fluviométricos da Estação 59372000 - Itapetininga, por exemplo.

No âmbito da validação dos produtos gerados pela simulação hidrológica utilizando dados da tese, entretanto, apenas os locais onde se encontram a Estação Fazenda Santa Rita (59350000) e a Estação Itapetininga (59372000) foram utilizados. Os outros dados obtidos pela autora não foram utilizados pelos seguintes motivos:

- Fazenda Fortaleza (59370000): Os dados de vazão desta estação estão sendo utilizados para calibração do modelo;
- Fazenda das Garrafas (59355000): Os dados de vazão desta estação estão sendo utilizados para validação direta do modelo, considerando a série histórica obtida no Hidroweb, para o período de interesse (1980 - 2010);
- Parati (59380000): Os dados de vazão desta estação estão sendo utilizados para calibração do modelo;
- Fazenda da Posse (59360000): Devido à discretização do modelo, a Estação Fazenda da Posse não está representada, pois ela se encontra na mesma minibacia do que a estação Fazenda das Garrafas (59355000).

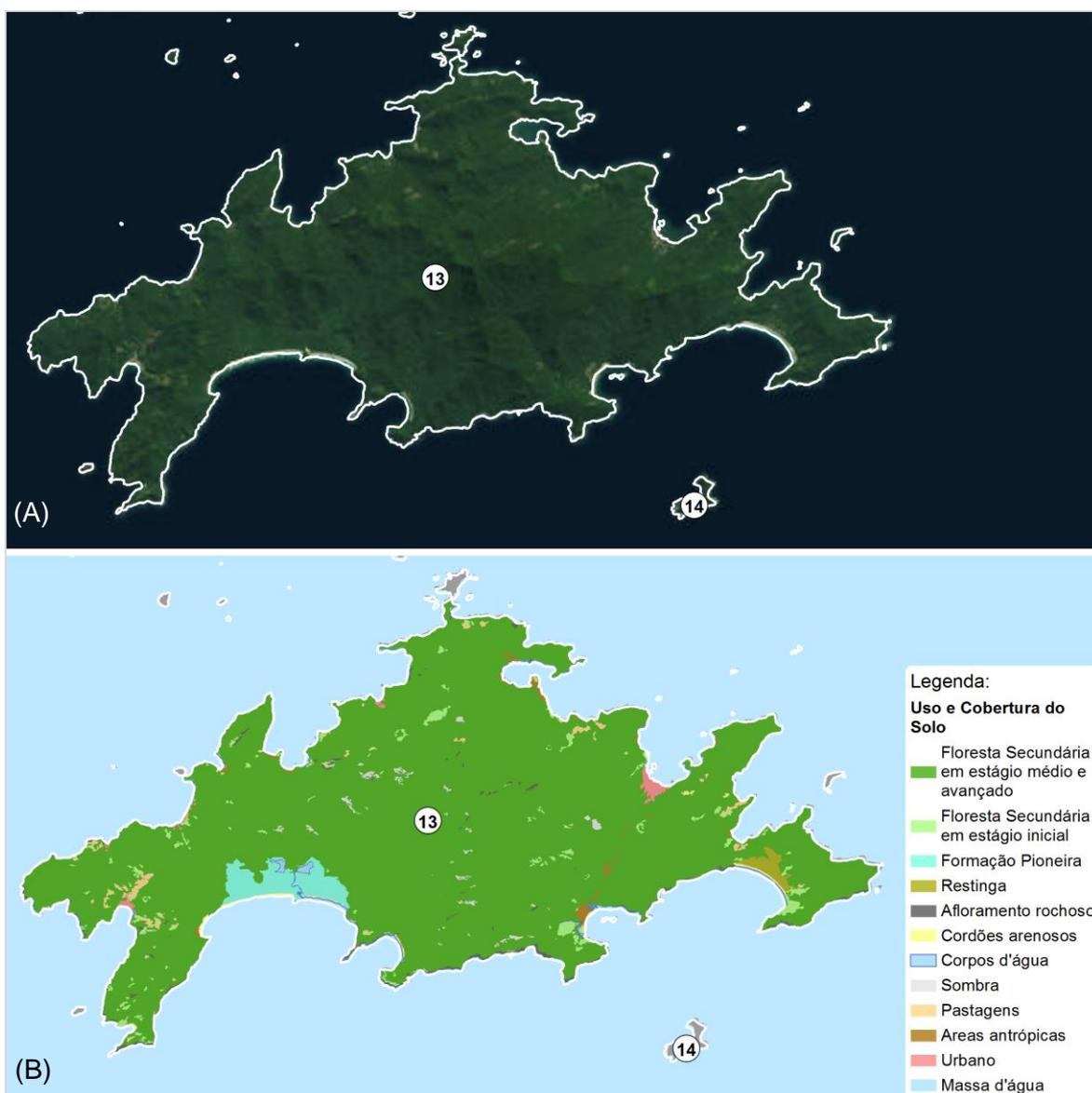
## 2.2. ILHA GRANDE (UHP-13)

A UHP 13 (referente à Ilha Grande) é uma ilha que foi tratada de forma metodologicamente diferente no âmbito deste estudo de disponibilidade hídrica. E devido a esse fato, é aqui apresentada de forma separada às demais UHPs que compõe a RH-I. A Figura 2.19 apresenta a cobertura do solo da UHP 13, através de imagem (A) de satélite e do dado de uso e cobertura (B), de forma ser possível observar que, além da ilha ser tomada quase que exclusivamente por vegetação de grande porte, a existência de manchas urbanas na região é muito pequena.



Ainda, adotando-se a mesma discretização utilizada para a parte continental (referente à consideração que 1 km<sup>2</sup> de área de drenagem já seja suficiente para gerar um curso hídrico) a Ilha Grande foi compartimentada em 31 sub-bacias e 68 mini-bacias, apresentadas na Figura 2.20 em conjunto com a topografia e os recursos hídricos. Ressalta-se que essas bacias não cobrem toda a área da Ilha devido ao limite inferior de 1 km<sup>2</sup> imposto na discretização. Para estes cursos hídricos mapeados (apresentados na Figura 2.20), foram obtidas as vazões de referência.

A metodologia utilizada para obtenção destas vazões de referência, para a Ilha Grande, foi de regionalizações de vazões, que significa transpor dados de vazão de locais monitorados para locais não monitorados. Essa metodologia, e os dados de entrada necessários para aplicá-la, são mais bem explanados no próximo item.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.19 – Cobertura vegetal da UHP-13



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.20 – Geomorfologia e Recursos Hídricos da Ilha Grande

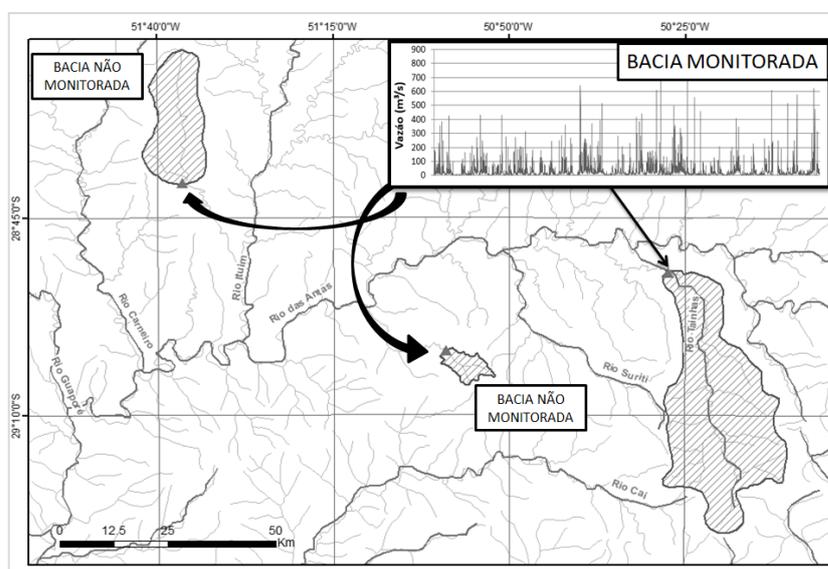
### 2.2.1. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

A regionalização de vazões pode ser aplicada considerando diversas variáveis ou termos específicos. Em geral, a regionalização mais simples é realizada considerando apenas uma relação entre áreas de drenagem de dois exutórios de interesse, utilizando uma bacia em que se dispõe de dados de vazão e outra a qual se deseja obter essas informações (Collischonn & Dorneles 2013). Esse tipo de metodologia pressupõe, portanto, que todo o processo de transformação e chuva em vazão da bacia regionalizada seja exatamente igual à bacia com dados monitorados. Ou seja, considera que variáveis como chuva, uso do solo, tipo de solo, geologia, vegetação, clima, radiação solar, evapotranspiração, e características hidromorfológicas de ambas as bacias sejam iguais. Uma ilustração da aplicação do método de regionalização pode ser observada na Figura 2.21.

As simplificações adotadas podem ser consideradas, portanto, como uma das principais limitações da técnica de regionalização de vazões pura e simplesmente aplicada. Muito embora existam estas limitações, entretanto, cabe ressaltar que a regionalização de vazão pode se



constituir como uma alternativa muito interessante de ser aplicada em determinadas condições, como as existentes para a UHP 13.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 2.21 – Ilustração da Técnica de Regionalização

Outra forma mais completa de se trabalhar com a regionalização de vazões é a partir da utilização de diversas bacias de referência, ajustando-se uma curva de potência entre a área de drenagem e as vazões de referência obtidas para cada estação. Segundo Tucci (2002), equações deste tipo seguem o seguinte formato:

$$Q = a \cdot A_{reg}^b \quad (5)$$

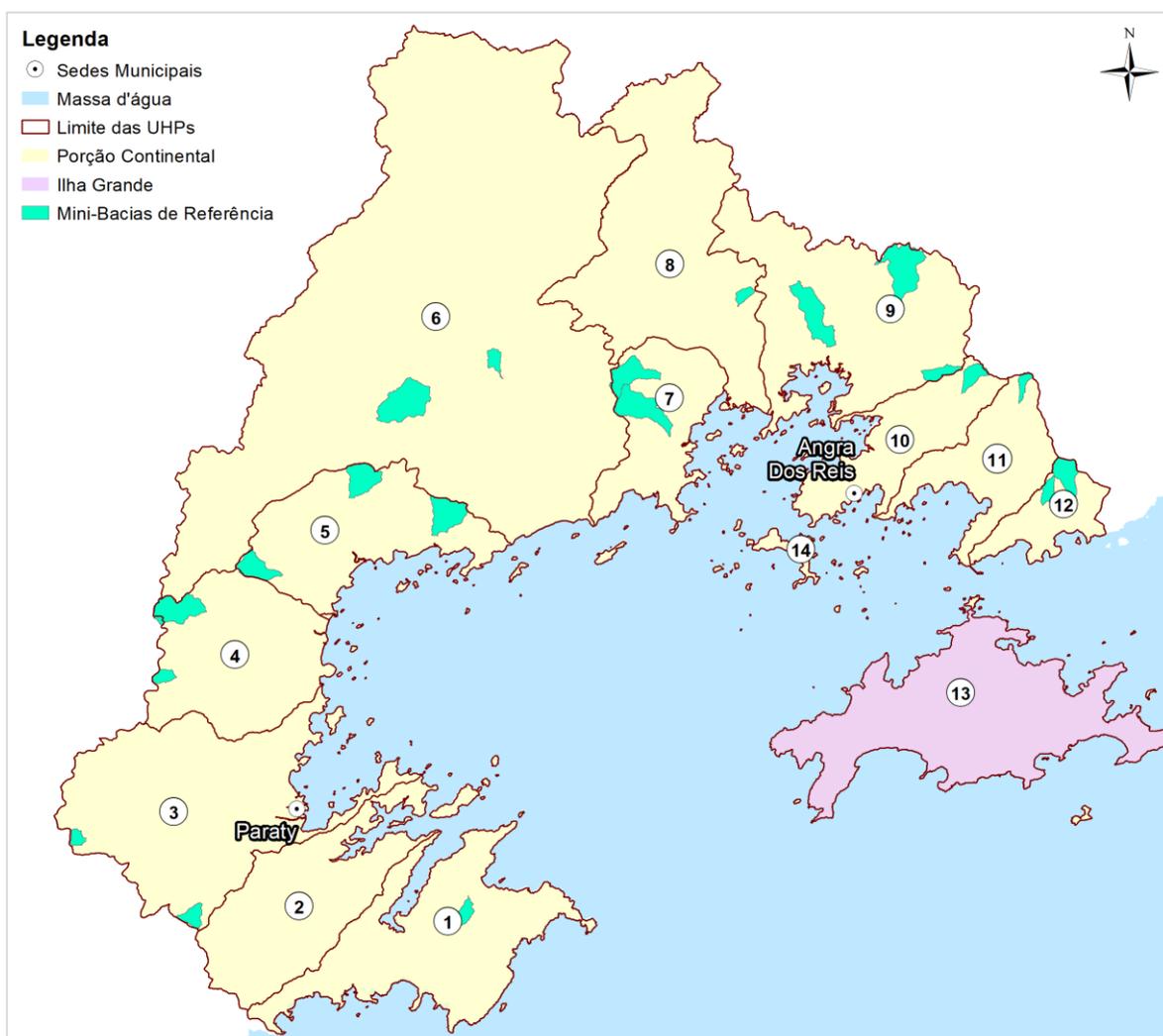
Em que:

- “Q” é a vazão, em m<sup>3</sup>/s;
- *a* é um parâmetro ajustado conforme dados observados;
- *b* é um parâmetro ajustado com dados observados;
- *A* é a área de drenagem da bacia sem dados de vazão (km<sup>2</sup>);

Fazendo-se uso dos resultados obtidos para a porção continental da área de estudo (que serão apresentados no item 4), foram definidas 20 minibacias como áreas de drenagem de referência. E a partir destas 20 minibacias, foram traçadas relações potenciais como a apresentada na Equação 5. Estas minibacias (apresentadas na Figura 2.22) foram escolhidas por apresentarem: (i) cobertura do uso do solo extremamente similar à observada na Ilha Grande, que é composta majoritariamente por florestas; (ii) declividades similares às encontradas nas mini-bacias da Ilha Grande e; (iii) tamanhos e formas de bacias similares às encontradas na Ilha Grande. No Quadro 2.5 observa-se a relação destas mini-bacias quanto à disponibilidade hídrica,



tamanho da área de drenagem e nome do principal curso hídrico ou afluente. As relações entre área de drenagem e vazão, geradas a partir destas mini-bacias de referência, são apresentadas nos gráficos dispostos da Figura 2.23 à Figura 2.27.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.22 – Mini-Bacias utilizadas para a regionalização

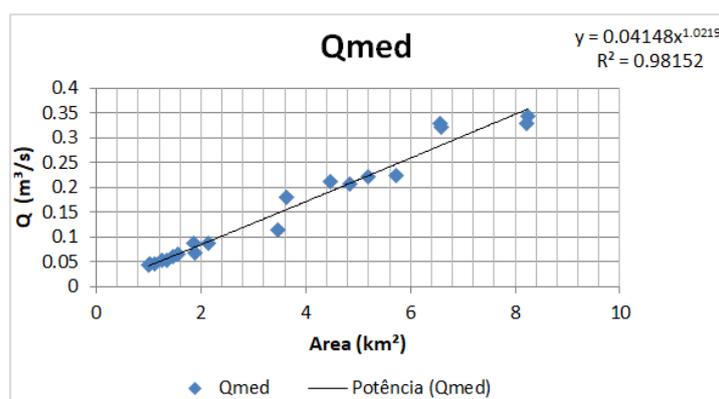
Quadro 2.5 – Mini-Bacias de Referência

Nome do Rio/Afluente	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Córrego Fundo	1.02	0.046	0.036	0.024	0.021	0.017
Rio Zungu	8.25	0.344	0.298	0.157	0.139	0.104
Rio Floresta	6.56	0.329	0.274	0.158	0.132	0.096
Córrego da Cachoeirinha	1.34	0.053	0.04	0.024	0.022	0.018
Rio Caputera	1.90	0.068	0.052	0.032	0.03	0.025
Rio Japuíba ou Banqueta	2.15	0.088	0.077	0.042	0.037	0.027
Córrego do Criminoso	4.83	0.207	0.15	0.095	0.088	0.07
Córrego do Cocho	1.11	0.045	0.039	0.021	0.018	0.014
Córrego do Buraco da Taquara	8.23	0.328	0.248	0.149	0.134	0.114
Córrego Sacher	6.58	0.322	0.271	0.157	0.142	0.097



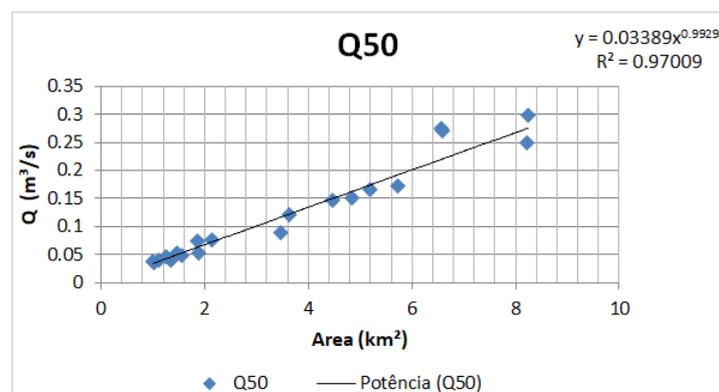
Nome do Rio/Afluente	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Córrego Jacareí	3.47	0.114	0.09	0.056	0.05	0.038
Córrego da Usina	4.46	0.211	0.147	0.09	0.08	0.068
Rio Catagalo	1.46	0.061	0.053	0.03	0.026	0.018
Rio São Gonçalo	5.20	0.221	0.165	0.101	0.093	0.083
Rio São Roque	3.64	0.18	0.121	0.073	0.065	0.055
Rio da Barra Grande	5.73	0.224	0.173	0.104	0.093	0.081
Rio Da Virada	1.26	0.054	0.046	0.021	0.017	0.015
Rio da Toca de Ouro	1.01	0.043	0.037	0.02	0.017	0.013
Rio da Itaóca	1.57	0.065	0.048	0.03	0.026	0.024
Rio do Corisquinho	1.87	0.088	0.075	0.043	0.037	0.03

Fonte: Elaboração própria



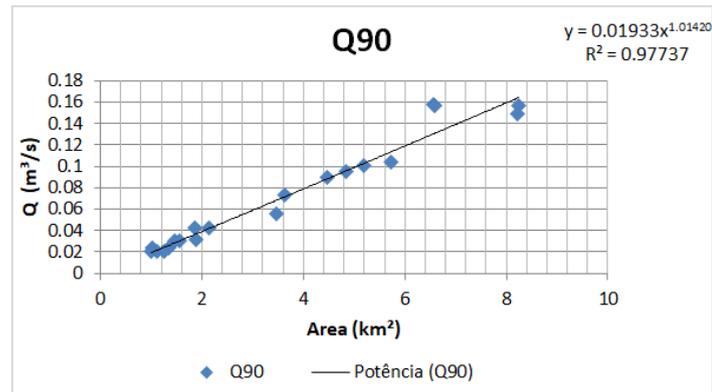
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.23 – Regionalização da Q<sub>med</sub>



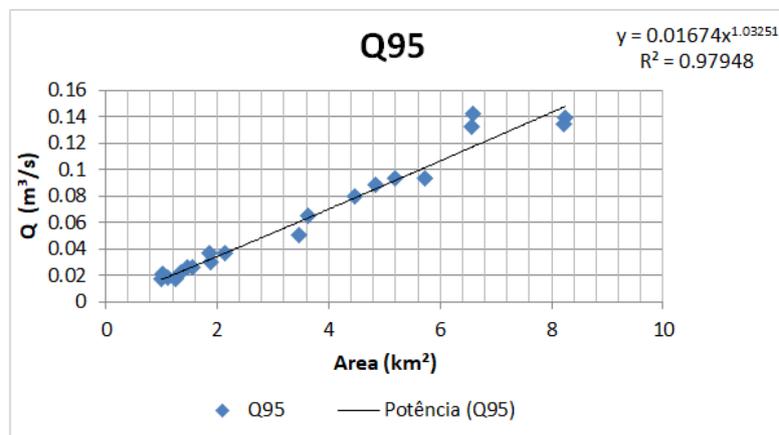
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.24 – Regionalização da Q<sub>50</sub>



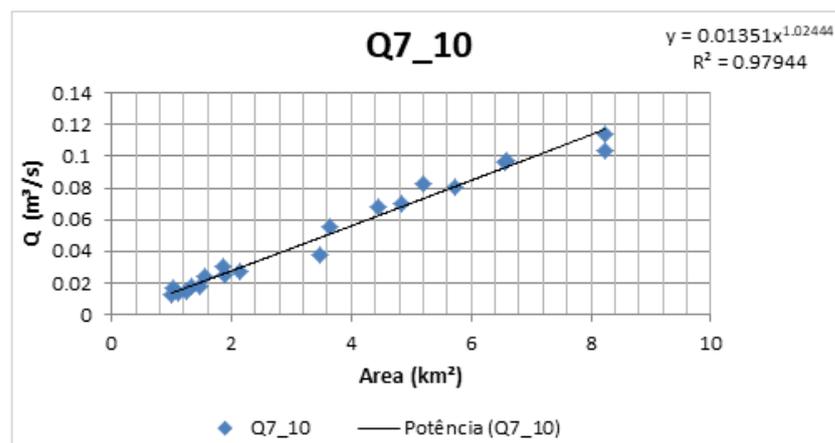
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.25 – Regionalização da Q<sub>90</sub>



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.26 – Regionalização da Q<sub>95</sub>



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.27 – Regionalização da Q<sub>7-10</sub>



Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia aqui exposta, para a UHP-13, são apresentados em conjunto com os obtidos para a porção continental da área de estudo, no item 2.3.2.

## 2.3. RESULTADOS - DISPONIBILIDADE

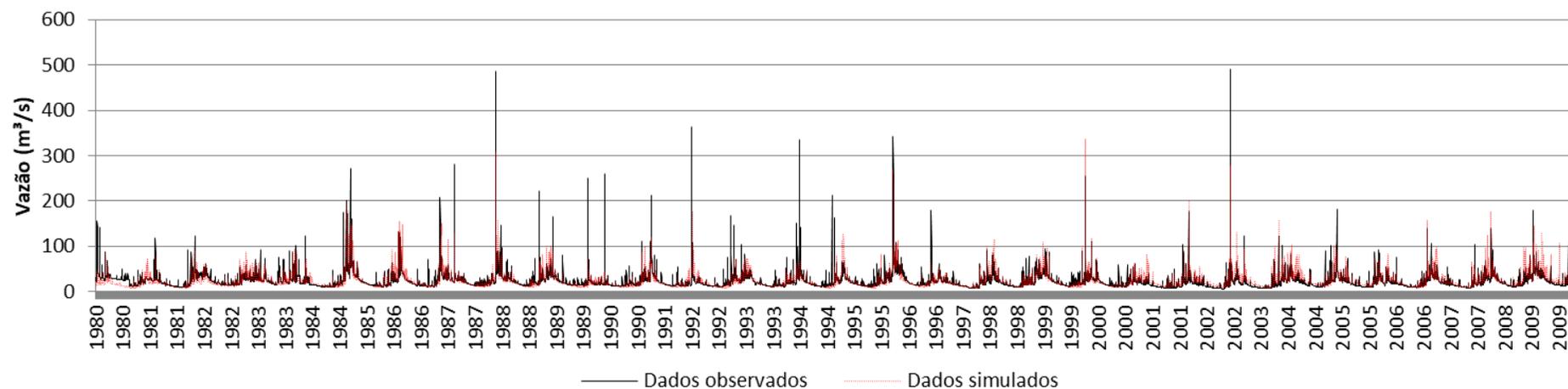
Este item mostra os resultados obtidos neste estudo de disponibilidade hídrica superficial. Como foram aplicadas duas metodologias no âmbito deste trabalho, este item de resultados também é dividido em duas partes. Inicialmente, no item 2.1, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da técnica de Simulação Hidrológica para UHPs 1 à 12. Após, no item 2.2, são apresentados os resultados obtidos utilizando a técnica de regionalização de vazões para a UHP 13.

### 2.3.1. DISPONIBILIDADE NA PORÇÃO CONTINENTAL

A apresentação dos resultados da Simulação Hidrológica realizada utilizando o modelo MGB é dividida em três subitens: (i) Resultados da Calibração; (ii) Validação dos Resultados e; (iii) Resultados em Locais de Interesse. Esses itens são apresentados a seguir.

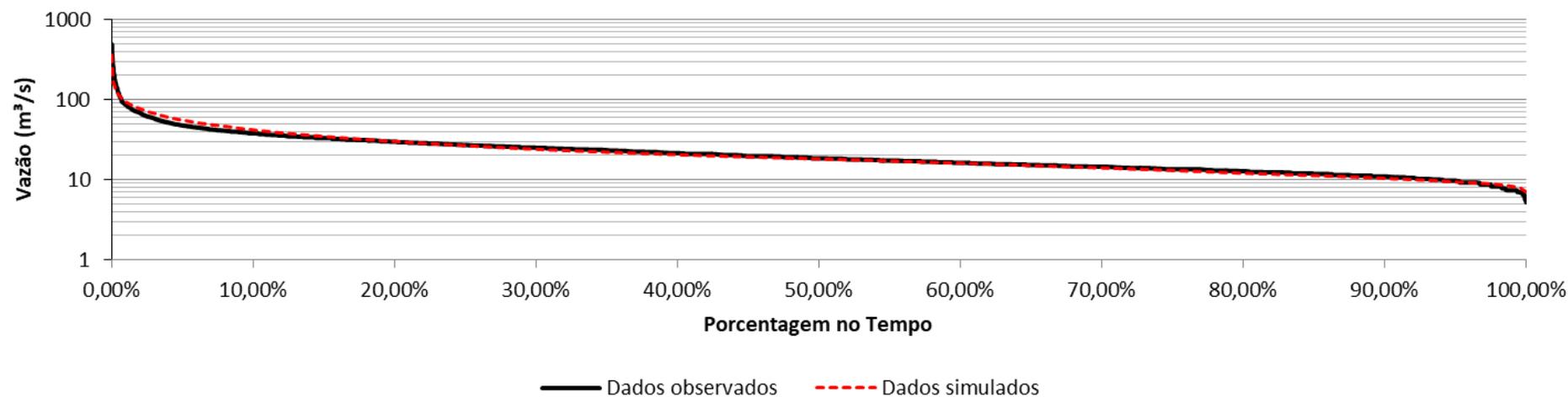
#### 2.3.1.1. RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO

Após a calibração do modelo foi possível comparar hidrogramas simulados x observados, e também as curvas de permanência simuladas x observadas. É importante, nesse sentido, destacar que a principal métrica para avaliação da coerência dos resultados (baixas vazões) está embasada no coeficiente de Nash-Log. Para a bacia da Estação Fazenda Fortaleza, que tem 639,26 km<sup>2</sup> de área de drenagem, os resultados obtidos permitiram um coeficiente de Nash-Log da ordem de 0,673, o que mostra um alto grau de assertividade (Figura 2.28). Esse grau de assertividade pode ser observado na comparação entre as curvas de permanência (Figura 2.29).



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.28 – Hidrogramas Simulados e Observados para a Estação Fazenda Fortaleza



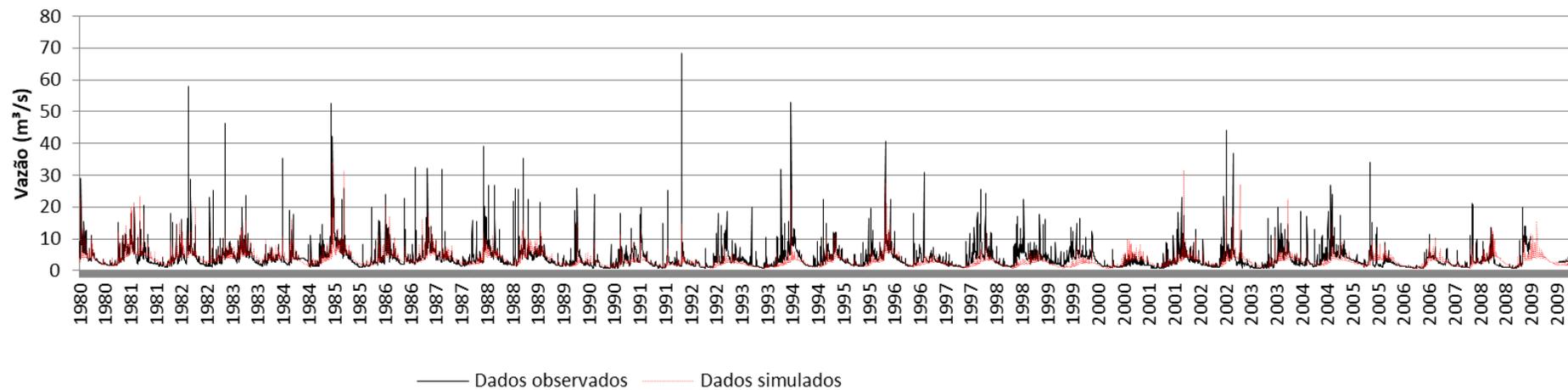
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.29 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Estação Fazenda Fortaleza



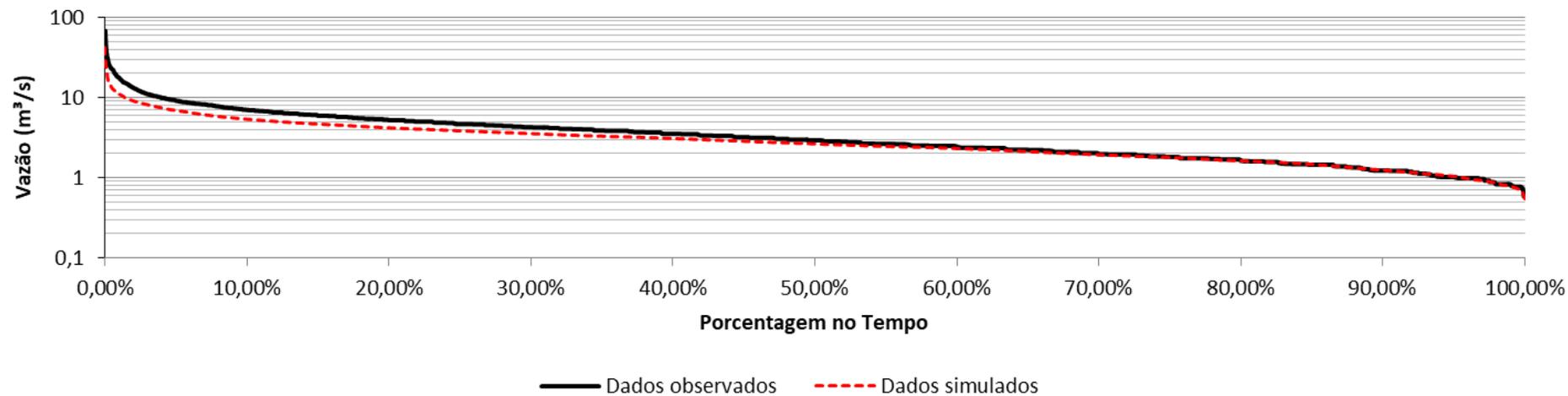
---

Os resultados obtidos para a Estação Parati, com 79,18 km<sup>2</sup> de área de drenagem, também foram validados a partir dos dados observados. Os hidrogramas simulados x observados são apresentados na Figura 2.30, ao passo que na Figura 2.31 é possível verificar uma comparação entre as curvas de permanência para esta estação. Neste sentido, destaca-se a alta coerência dos resultados obtidos para as baixas vazões, que são as de interesse no âmbito deste trabalho, segundo a Figura 2.31. O Nash-Log para esta bacia foi de 0,457, o que também pode ser considerado alto.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.30 – Hidrogramas Simulados e Observados para a Estação Parati



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.31 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Estação Parati



### 2.3.1.2. RESULTADOS DA VALIDAÇÃO

Neste item são apresentados os resultados das 4 validações citadas no item 2.1.3. Inicialmente, começa-se apresentando a validação entre a série simulada e a série observada no local da Estação Fazenda das Garrafas - 59355000. No item seguinte, são comparadas as vazões de referência simuladas e observadas no local da Estação Fazenda Santa Rita (593Q000) e da Estação Itapetininga (59372000), utilizando dados obtidos de Francisco (2004). Por fim, foi realizada a validação a partir da comparação de todas as vazões obtidas por Francisco (2004) com as obtidas no MGB.

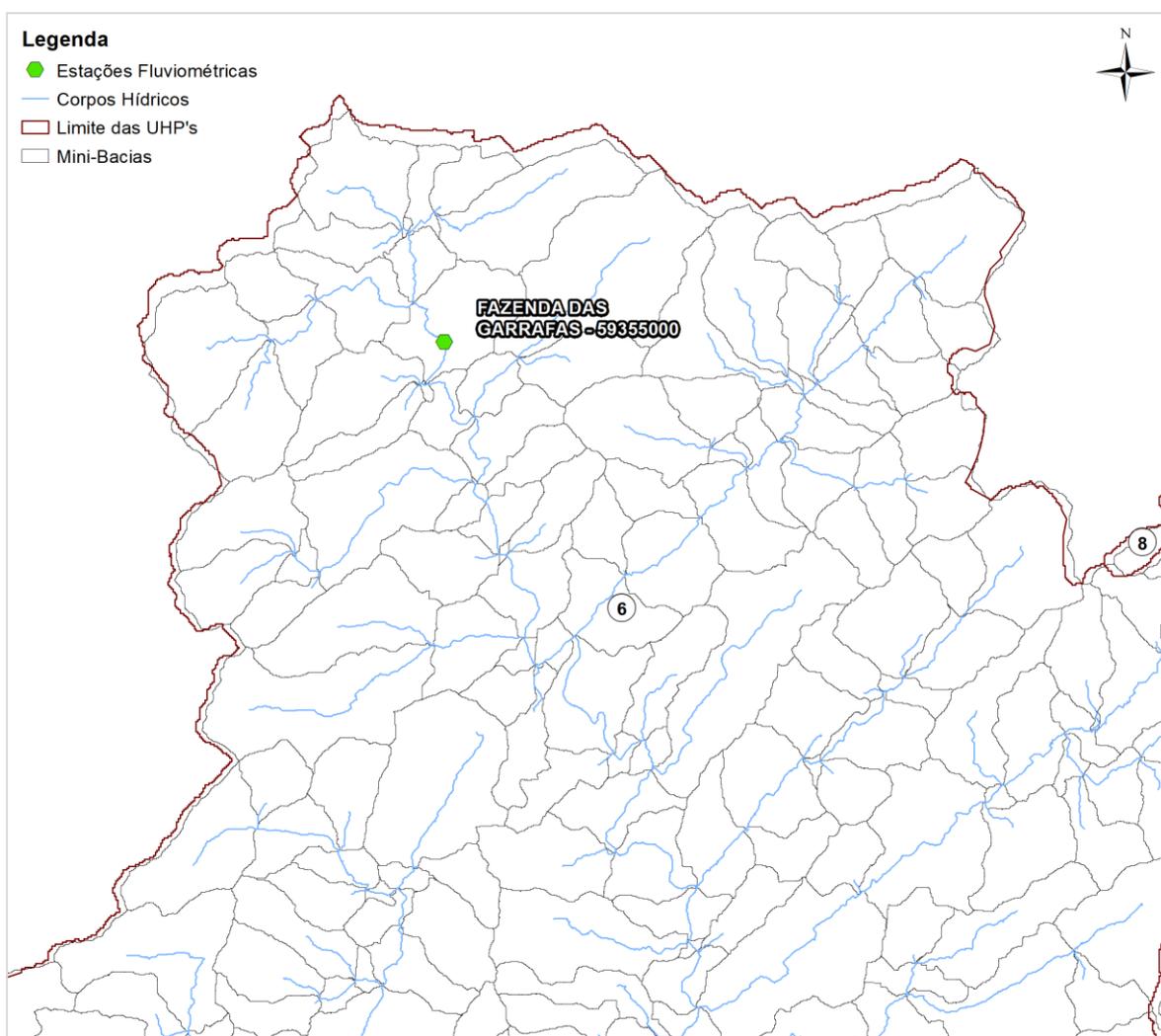
#### 2.3.1.3. Estação Fazenda das Garrafas

A validação realizada a partir da série observada na Estação Fazenda das Garrafas - 593550000 (Figura 2.32) mostrou extrema aderência dos dados simulados aos dados observados, como pode ser visualizado na Figura 2.33, para toda a série de vazões, e na Figura 2.34, para a curva de permanência. Ainda, no Quadro 2.6 é apresentado que os erros relativos às vazões mínimas de referência são sempre inferiores a 6%. Ressalta-se que nesse quadro,  $Q_{7,10}$  é a vazão mínima de 7 dias de duração com 10 anos de tempo de retorno;  $Q_{95}$  é a vazão mínima que se mantém disponível em 95% do tempo;  $Q_{90}$  é a vazão mínima que se mantém disponível em 90% do tempo;  $Q_{50}$  é a vazão mínima que se mantém disponível em 50% do tempo e  $Q_{mlt}$  é a vazão média de longo período.

Quadro 2.6 – Comparação entre vazões específicas observadas e simuladas

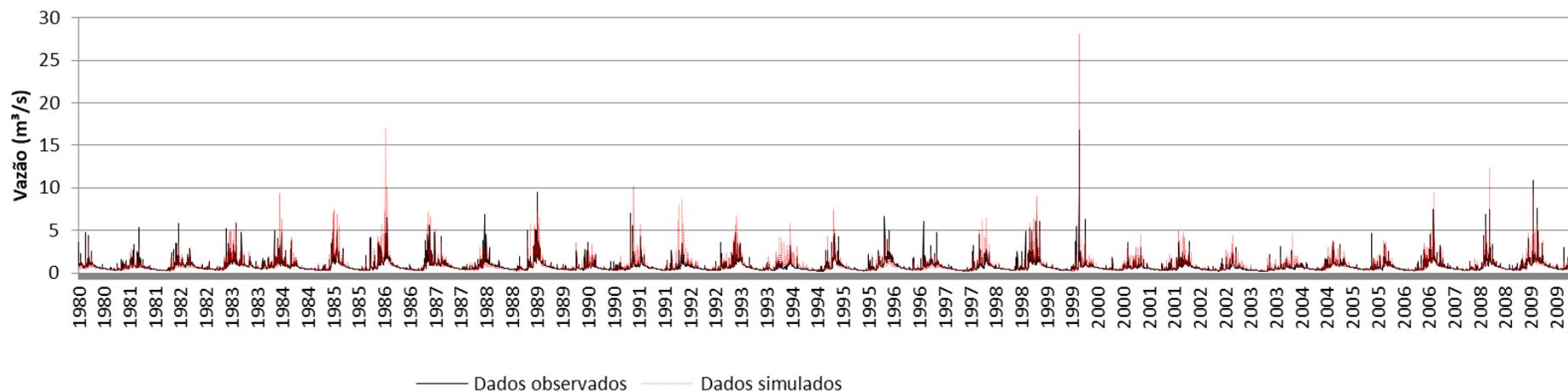
Estação Fazenda das Garrafas	Vazões de Referência (L/s.km <sup>2</sup> )				
	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$	$Q_{90}$	$Q_{50}$	$Q_{mlt}$
Simulado (MGB)	9,58	12,56	13,82	25,35	35,40
Observado (Estação)	10,14	12,61	14,34	25,56	32,84
Erro	5,9%	0,3%	3,8%	0,9%	-7,2%

Fonte: Elaboração própria



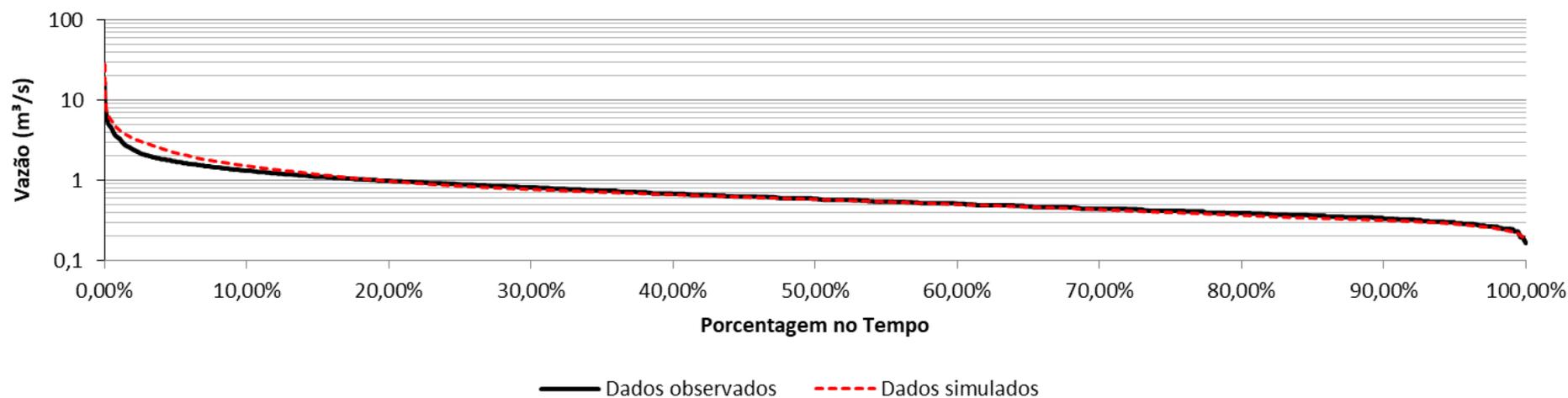
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.32 – Localização da Estação Fazenda das Garrafas



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.33 – Hidrograma simulado e observado para a Estação Fazenda das Garrafas



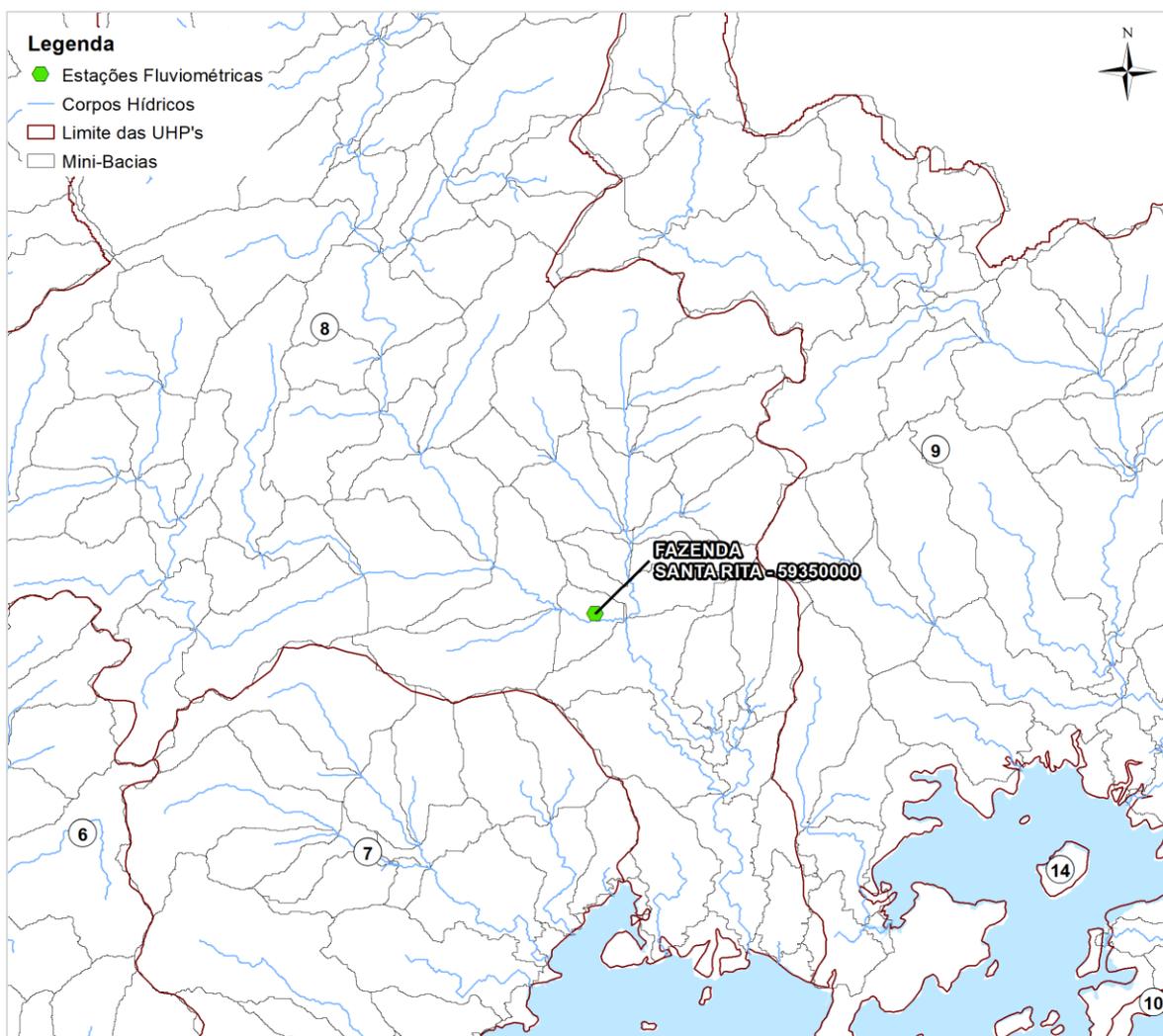
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.34 – Curvas de Permanência simulada e observada para a Fazenda das Garrafas



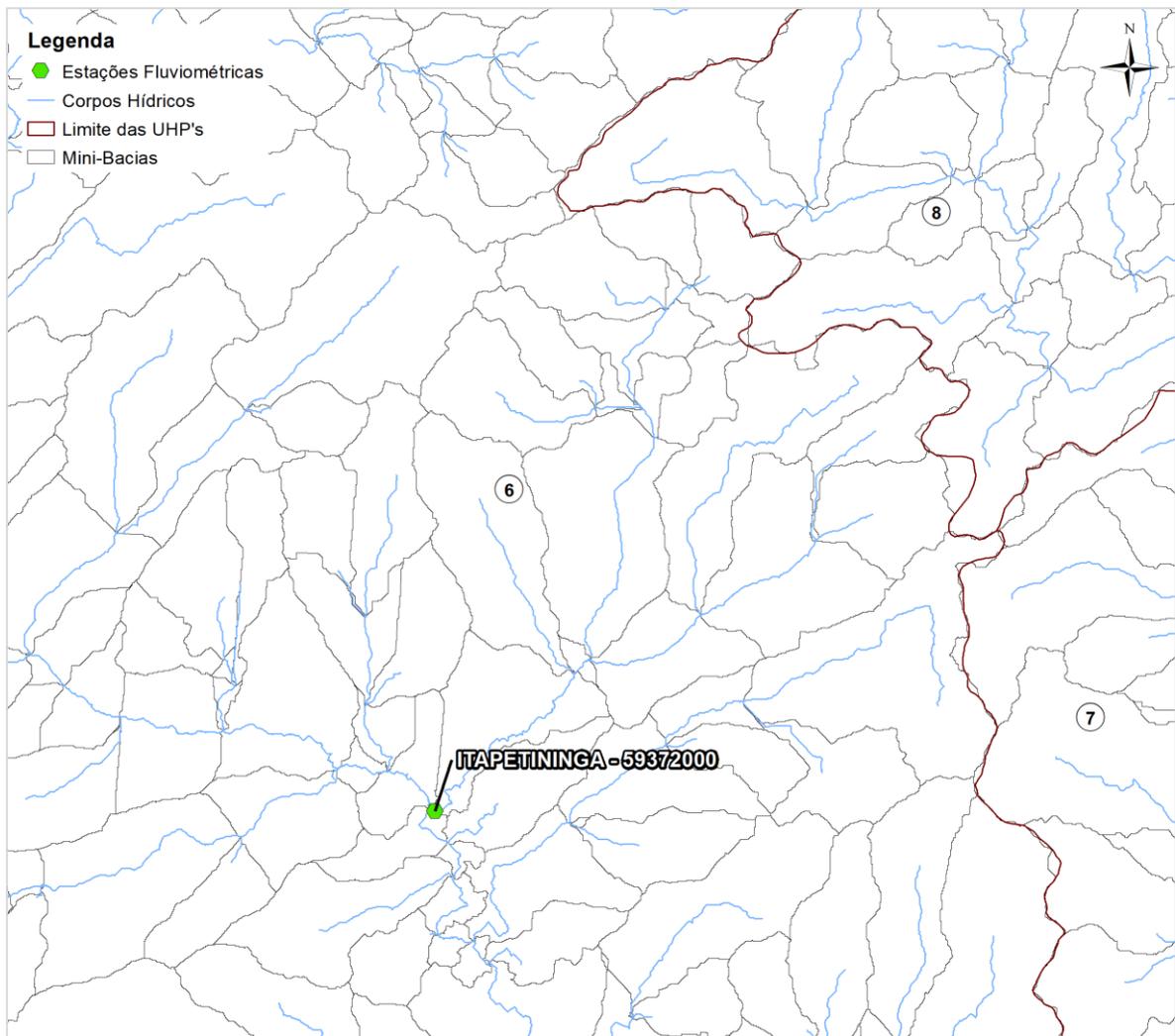
#### 2.3.1.4. Estação Fazenda Santa Rita e Itapetininga

Neste item são comparadas as vazões de referência obtidas por Francisco (2004) com as vazões de referência obtidas pela simulação realizada, para dois locais: Fazenda Santa Rita (Figura 2.35) e Estação Itapetininga (Figura 2.36).



Fonte: Elaboração própria

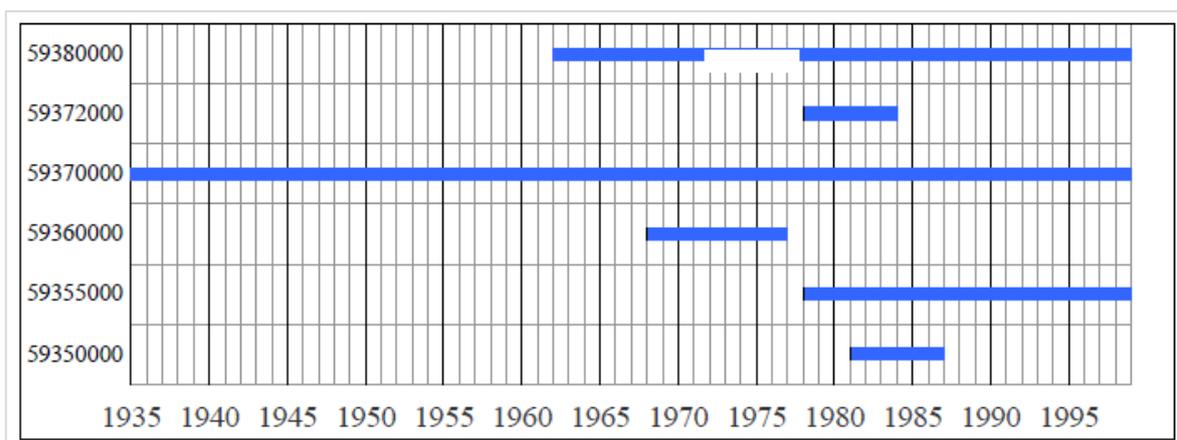
Figura 2.35 – Localização da Estação Fazenda Santa Rita



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.36 – Localização da Estação Itapetininga

Os valores obtido pela referida autora são representativos de uma época não simulada pelo MGB, de forma que pequenas diferenças entre os resultados são esperadas e não invalidam a análise, que se baseia na análise dos comportamentos e ordem de grandeza dos resultados. Dessa forma, embora sejam esperados valores parecidos ou da mesma ordem de grandeza, ressalta-se que as bacias hidrográficas da região apresentam grande variabilidade na precipitação anual, o que pode interferir diretamente nos resultados obtidos para uma pequena série de dados de vazão (no caso de Francisco, 2004). A Figura 2.37 mostra o período de dados avaliados, ao passo que no Quadro 2.7 são apresentados os resultados obtidos pela referida autora.



Fonte: Francisco (2004)

Figura 2.37 – Período de Dados de Vazão analisados por Francisco (2004)

Quadro 2.7 – Vazões absolutas e específicas calculadas por Francisco (2004)

UHP (Nº)	Rio	Estação	Área (km <sup>2</sup> )	Vazões (m <sup>3</sup> /s)				Vazões específicas (L/s.km <sup>2</sup> )			
				Qmlt	Q50	Q95	Q7	Qmlt	Q50	Q95	Q7
8	Bracuí	Fazenda Santa Rita	179	10,5	8,7	3,7	3,6	58,66	48,60	20,67	20,11
6	Mambucaba	Fazenda das Garrafas	22	0,8	0,6	0,3	0,3	36,36	27,27	13,64	13,64
6	Mambucaba	Fazenda da Posse	35	1,5	1,3	0,7	0,7	42,86	37,14	20,00	20,00
6	Mambucaba	Fazenda Fortaleza	597	25,1	19,1	9,7	10,6	42,04	31,99	16,25	17,76
6	Itapetinga	Itapetinga	39	2	1,4	0,7	0,6	51,28	35,90	17,95	15,38
3	Perequê-Açú	Parati	79	4,4	3,3	1,2	1,3	55,70	41,77	15,19	16,46

Fonte: Adaptado de Francisco (2004)

Apenas para fins de comprovação desta afirmativa, no Quadro 2.8 são apresentados os dados obtidos por Francisco (2004) para Vazão Média ( $Q_{med}$ ), Q50 e Q95 para três estações fluviométricas: Estação Parati, Estação Fazenda das Garrafas e Estação Fazenda Fortaleza. Estas vazões de referência foram, então, comparadas com as vazões de referências obtidas a partir da série real para o período compreendido entre 1980 e 2010 (ANA, 2018).

Quadro 2.8 – Comparação entre vazões de Francisco (2004) e vazões reais para o período estudado (1980 - 2010)

ESTAÇÃO	DADOS MEDIDOS (1980 - 2010) (L/s.km <sup>2</sup> )			DADOS FRANCISCO (L/s.km <sup>2</sup> )			ERROS		
	Q95	Q50	Qmlt	Q95	Q50	Qmlt	Q95	Q50	Qmlt
Parati	13,27	33,68	39,98	15,19	41,77	55,70	14%	24%	39%
Fazenda das Garrafas	12,56	25,35	35,40	13,64	27,27	36,36	9%	8%	3%
Fazenda Fortaleza	14,70	28,57	36,73	16,25	31,99	42,04	11%	12%	14%

Fonte: Adaptado de Francisco (2004)

É possível observar que, quando comparados, os dados chegam a divergir em até quase 40% para, por exemplo, a vazão média (no caso da Estação de Parati). Essa breve avaliação comprova, portanto, que a utilização das vazões apresentadas por Francisco (2004) como validadoras da simulação aqui realizada, deve ser realizada com bastante parcimônia.

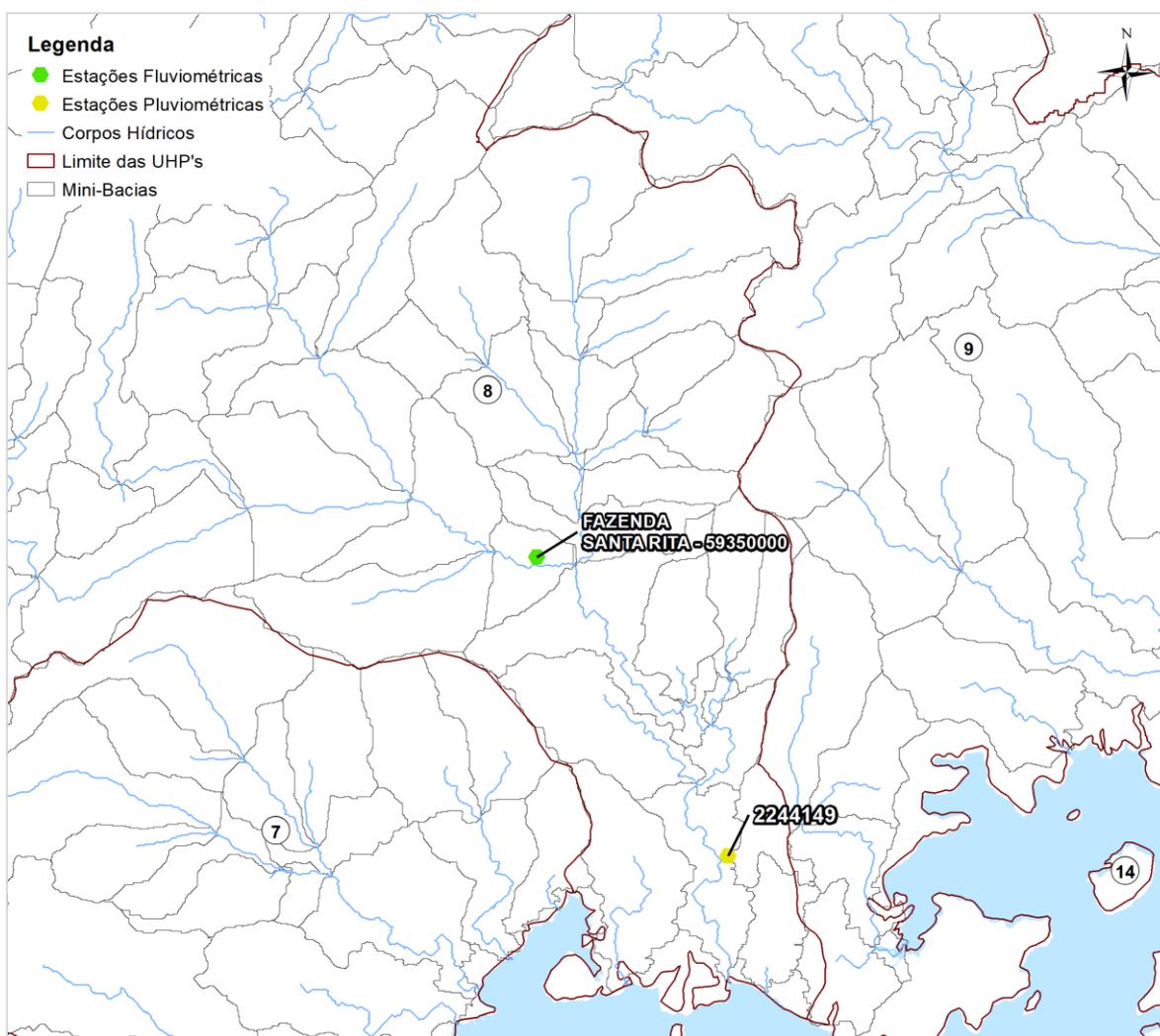
Outra forma de se realizar a avaliação quanto à compatibilidade de dados entre estes dois produtos pode ser embasada na variabilidade da chuva da bacia no período de análise. Para o



---

caso específico da Estação Fazenda Santa Rita, procedeu-se uma pequena avaliação estatística da variabilidade dos dados de chuva da bacia, considerando a série pluviométrica interpolada pelo modelo. No local da referida estação, no período de 1980 a 1986 (período de obtenção de dados de vazão por Francisco, 2004) foi observada uma média de precipitação anual da ordem de 2.000 mm/ano. Enquanto isso, para o período de 1986 a 2010 foi observada uma média de 2.303 mm/ano. Além disso, considerando os dados da Estação Bracuí (2244149) (Figura 2.38, distante apenas 5 km da estação fluviométrica), é possível identificar anos com precipitação da ordem de 1.400 mm e anos com precipitação da ordem de 3.000 mm, o que comprova a grande sazonalidade quanto às precipitações médias anuais na região de estudo e demonstra que curtos períodos de análise de vazão (como o caso de Francisco, para esta estação) podem não ser representativos do comportamento da bacia como um todo.

Uma vez apresentadas estas ressalvas, quanto à comparação cruzada entre os dois produtos, no Quadro 2.9 e no Quadro 2.10 são apresentadas as comparações entre os resultados obtidos pela simulação realizada e os levantados por Francisco (2004), para as estações fluviométricas citadas.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.38 – Localização da Estação Fluviométrica Fazenda Santa Rita em conjunto com a Estação Pluviométrica Bracui (244149)

Quadro 2.9 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação com os levantados por Francisco (2004) para a Estação Fazenda Santa Rita

Estação Fazenda Santa Rita	Vazões Específicas (L/s.km <sup>2</sup> )				
	Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>mlt</sub>
Simulado	13,88	17,59	19,29	32,12	39,98
Francisco 2004	-	20,7	-	48,6	58,7
Diferença Percentual	-	-14,9%	-	-33,9%	-31,8%

Fonte: Adaptado de Francisco (2004)

Quadro 2.10 – Comparação dos resultados obtidos pela simulação com os levantados por Francisco (2004) para a Estação Fazenda Itapetininga

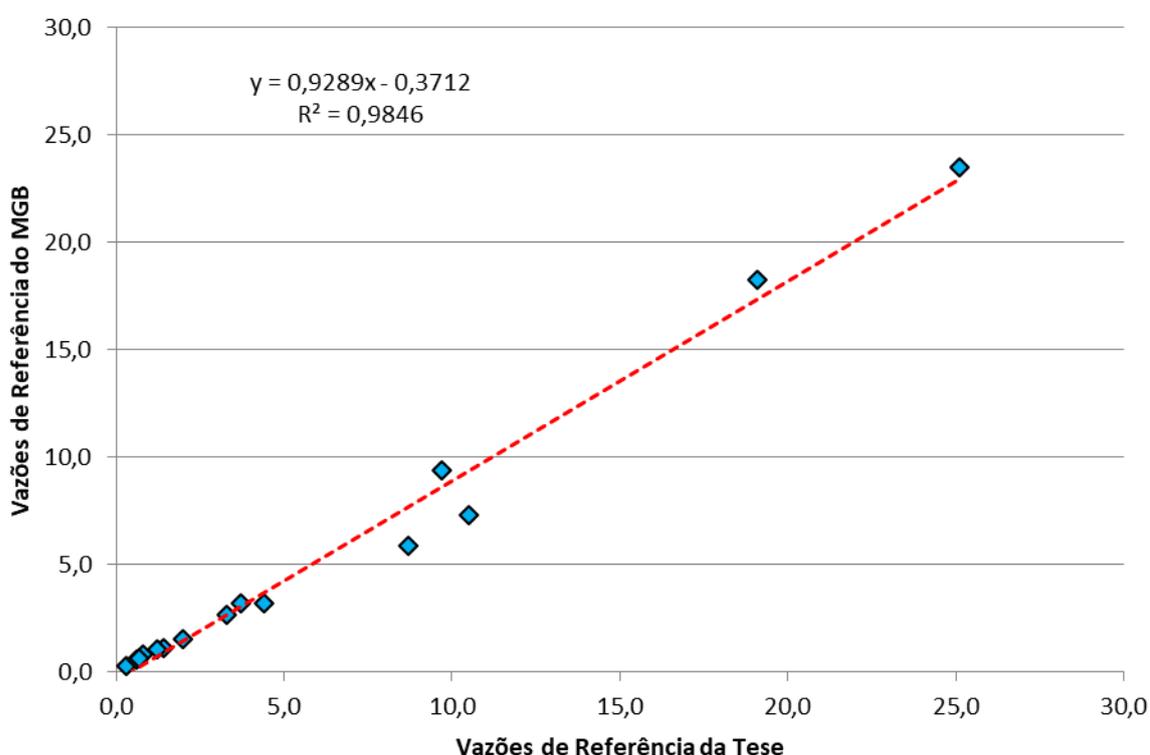
Estação Itapetininga	Vazões Específicas (L/s.km <sup>2</sup> )				
	Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>mlt</sub>
Simulado	13,67	16,90	18,55	30,25	40,57
Francisco 2004	-	17,95	-	35,90	51,28
Diferença Percentual	-	-6%	-	-16%	-21%

Fonte: Adaptado de Francisco (2004)



### 2.3.1.5. Validação global

Neste item é apresentado o que se chamou de “Validação Global” do modelo hidrológico estabelecido para a porção continental. Essa validação é realizada comparando-se todas as vazões de referência apresentadas por Francisco (2004) com as vazões de referência simuladas (no caso, Q<sub>média</sub>, Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub>) para as estações com disponibilidade de dados apresentadas no Quadro 2.4. A partir dessa comparação é possível a obtenção de uma correlação linear no valor de 0,984, segundo apresentado na Figura 2.39. Aqui, ressalta-se que não foram comparados os dados da estação Fazenda da Posse em função da discretização adotada para o modelo MGB.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.39 – Correlação entre vazões obtidas e vazões simuladas

A correlação, muito próxima a 1, permite inferir que, mesmo existindo possível incompatibilidade entre os dois trabalhos, os dados simulados estão bastante coerentes, principalmente para as bacias das quais não foi possível obter dados que possibilitassem uma calibração mais consistente (devido à inexistência de dados observados). Ainda, essa correlação inferior à unidade pode ser interpretada como a favor da segurança, uma vez que as vazões simuladas pelo modelo podem estar ligeiramente menores às vazões apontadas por Francisco (2004).



---

#### 2.3.1.6. RESULTADOS EM LOCAIS DE INTERESSE

Este item apresenta dados de vazão obtidos em locais de interesse, como os exutórios dos principais cursos hídricos de cada UHP da porção continental, no Quadro 2.11, e também figuras relativas à Vazão Média, Q95 e Q90, na Figura 2.40, na Figura 2.41 e na Figura 2.42.

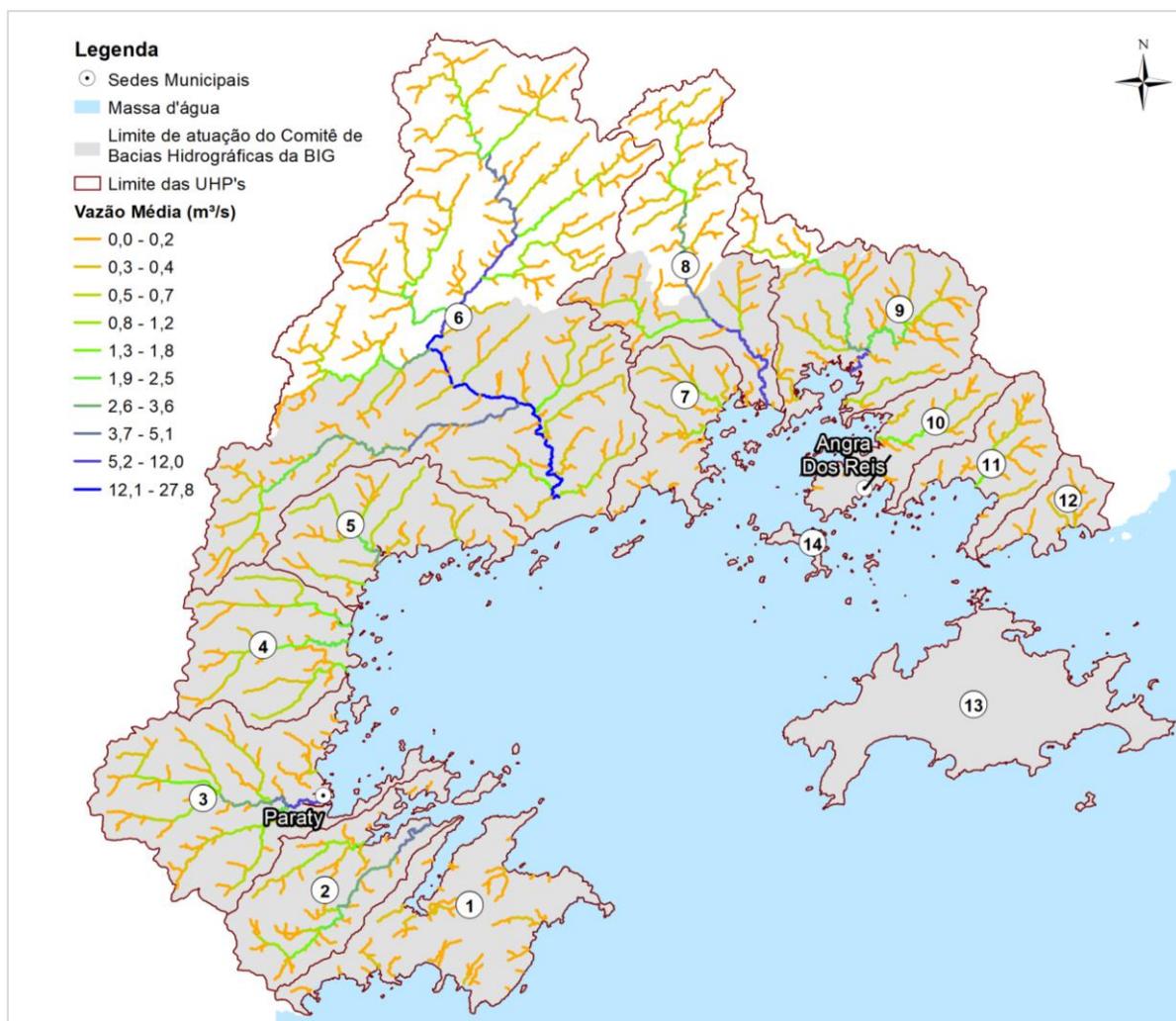
Ressalta-se que se procurou sempre considerar como exutório dos rios principais o local mais próximo possível do encontro dos mesmos com as águas do mar. Ainda, observa-se que as áreas de drenagem de cada exutório foram obtidas a partir do uso do MDE ALOS PALSAR, com 12 metros de resolução espacial, como explicado anteriormente.



Quadro 2.11 – Vazões de Referência para principais rios

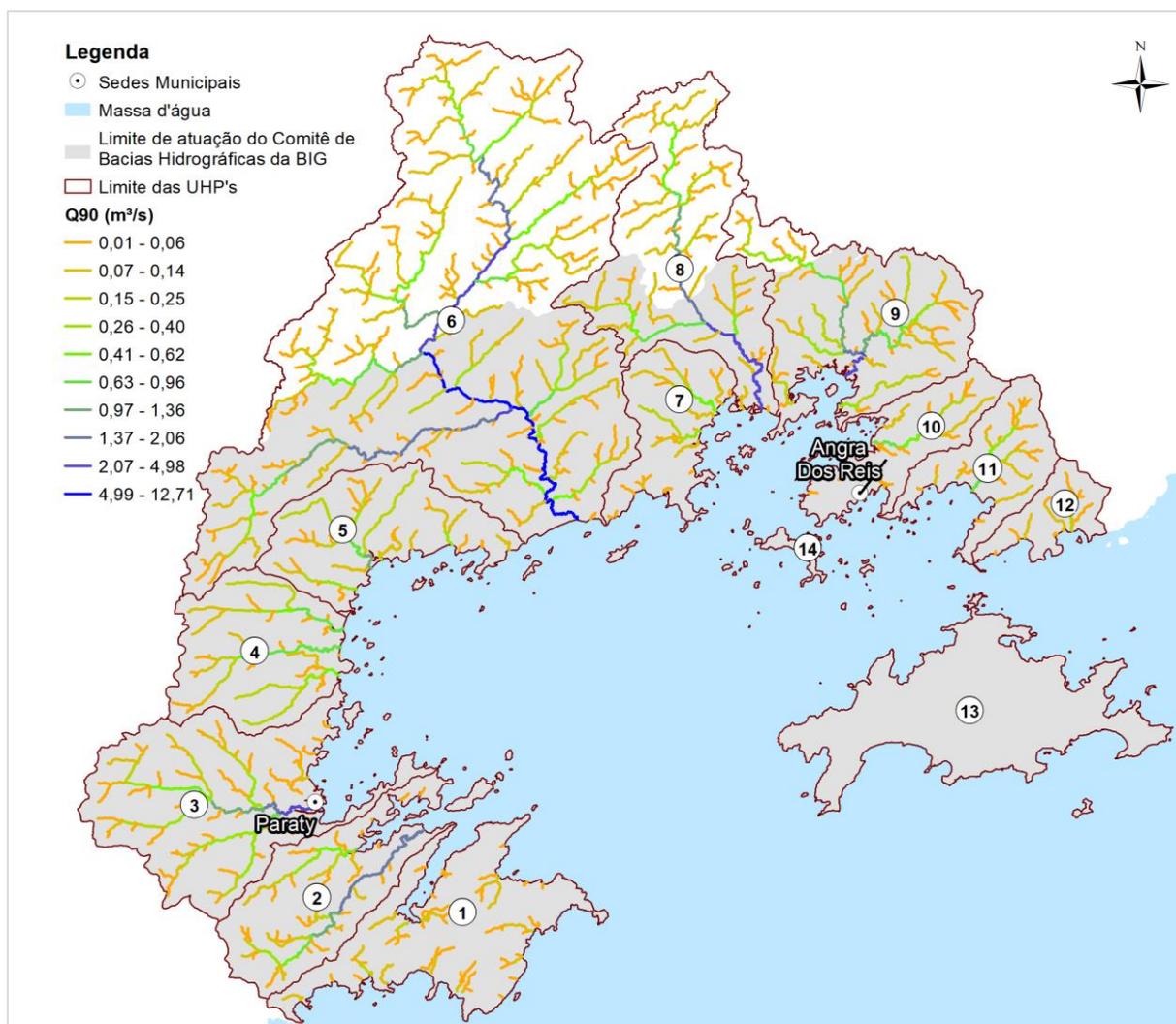
UHP	Rio	Unidade Hidrológica de Planejamento	Área (km <sup>2</sup> )	Absolutas (m <sup>3</sup> /s)					Específicas (L/s.km <sup>2</sup> )				
				Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>mit</sub>	Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>mit</sub>
1	Córrego Cachoeira Grande	Ponta da Juatinga - 1	7,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	15,3	16,6	18,9	30,6	40,5
2	Rio Paraty Mirim	Rio Paraty Mirim - 2	66,3	1,1	1,5	1,8	3,2	3,7	16,9	23,1	26,8	47,9	56,2
3	Rio Perequê-Açú	Rio Pereque-Açu - 3	163,7	1,3	2,0	2,5	5,2	6,1	8,3	12,5	15,2	31,5	37,0
4	Rio Barra Grande	Rio Pequeno e Barra Grande - 4	43,1	0,6	0,8	0,8	1,4	1,9	14,8	17,6	19,6	32,7	44,5
4	Rio da Graúna	Rio Pequeno e Barra Grande - 4	32,8	0,4	0,5	0,6	1,2	1,4	10,8	15,0	17,7	36,1	41,4
5	Rio Taquari	Rio Taquari - 5	52,3	0,8	0,9	1,1	1,7	2,5	15,1	17,9	20,1	33,1	48,3
5	Rio São Roque	Rio Taquari - 5	17,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	15,5	18,2	20,3	33,1	48,2
6	Rio Mambucaba	Rio Mambucaba - 6	742,4	9,6	11,5	12,7	21,7	27,8	12,9	15,4	17,1	29,2	37,5
7	Rio Grataú	Rio Grataú e do Frade - 7	22,6	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	14,5	18,4	20,3	31,3	42,9
7	Rio do Frade	Rio Grataú e do Frade - 7	16,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,8	15,7	21,9	24,0	40,8	48,5
8	Rio Bracuí	Rio Bracuí - 8	193,2	2,7	3,5	3,8	6,2	7,8	14,0	17,9	19,6	32,3	40,2
9	Rio Ariró	Rio Ariró - 9	143,7	1,8	2,6	2,9	5,4	6,2	12,8	17,9	20,2	37,8	43,1
9	Rio Caputera	Rio Ariró - 9	15,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	13,7	16,6	18,7	28,3	36,6
10	Rio do Meio (Japuíba)	Rio Japuíba -10	38,0	0,5	0,7	0,8	1,3	1,6	13,4	18,0	20,0	35,4	40,8
11	Rio Jacuecanga	Rio Jacuecanga - 11	39,8	0,5	0,7	0,8	1,4	1,6	13,1	17,0	19,3	35,1	39,5
12	Rio Jacareí	Rio Jacareí - 12	13,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	10,7	14,2	16,0	25,2	31,6

Fonte: Elaboração própria



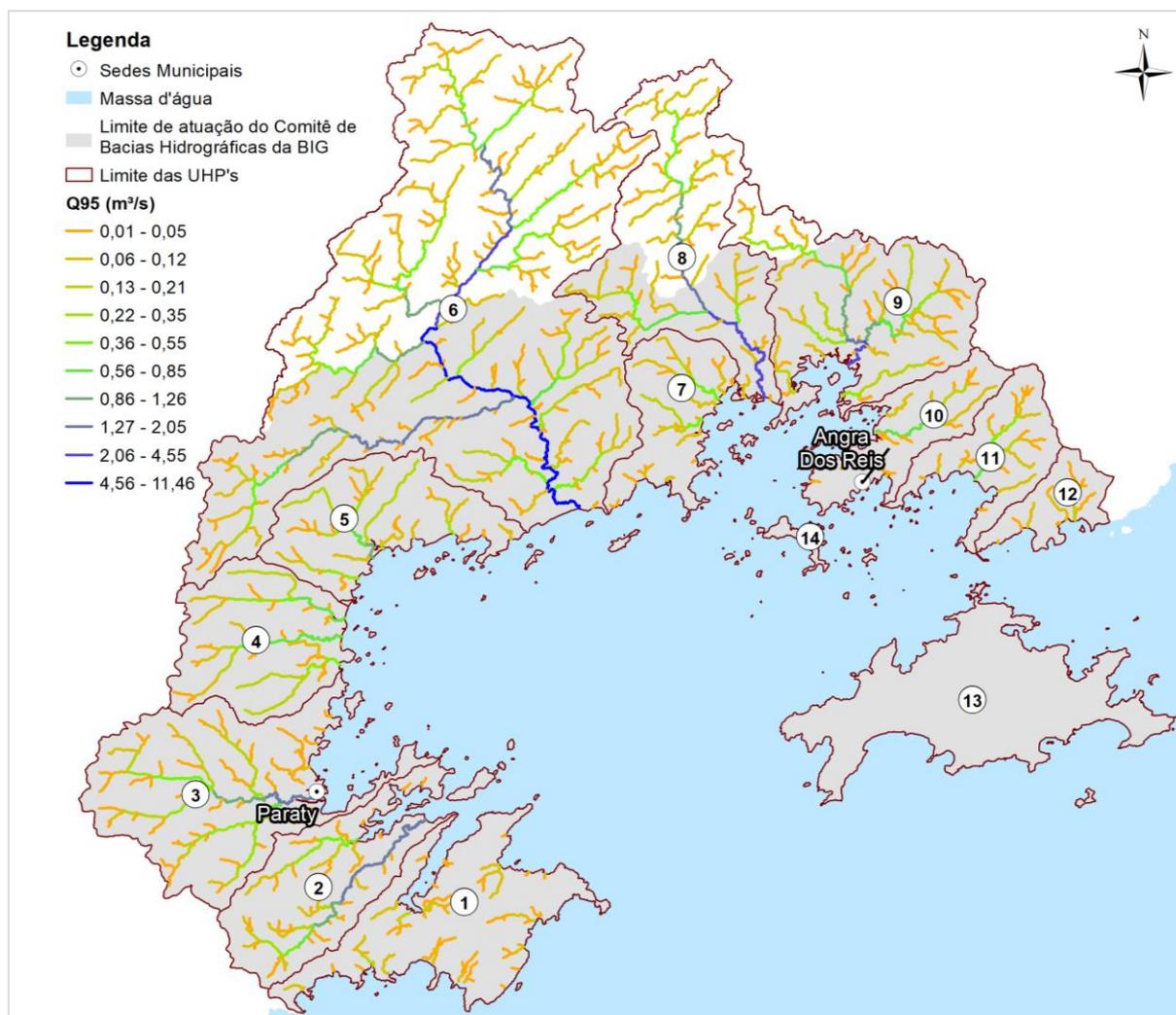
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.40 – Disponibilidade Hídrica - Qmédia



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.41 – Disponibilidade Hídrica - Q90

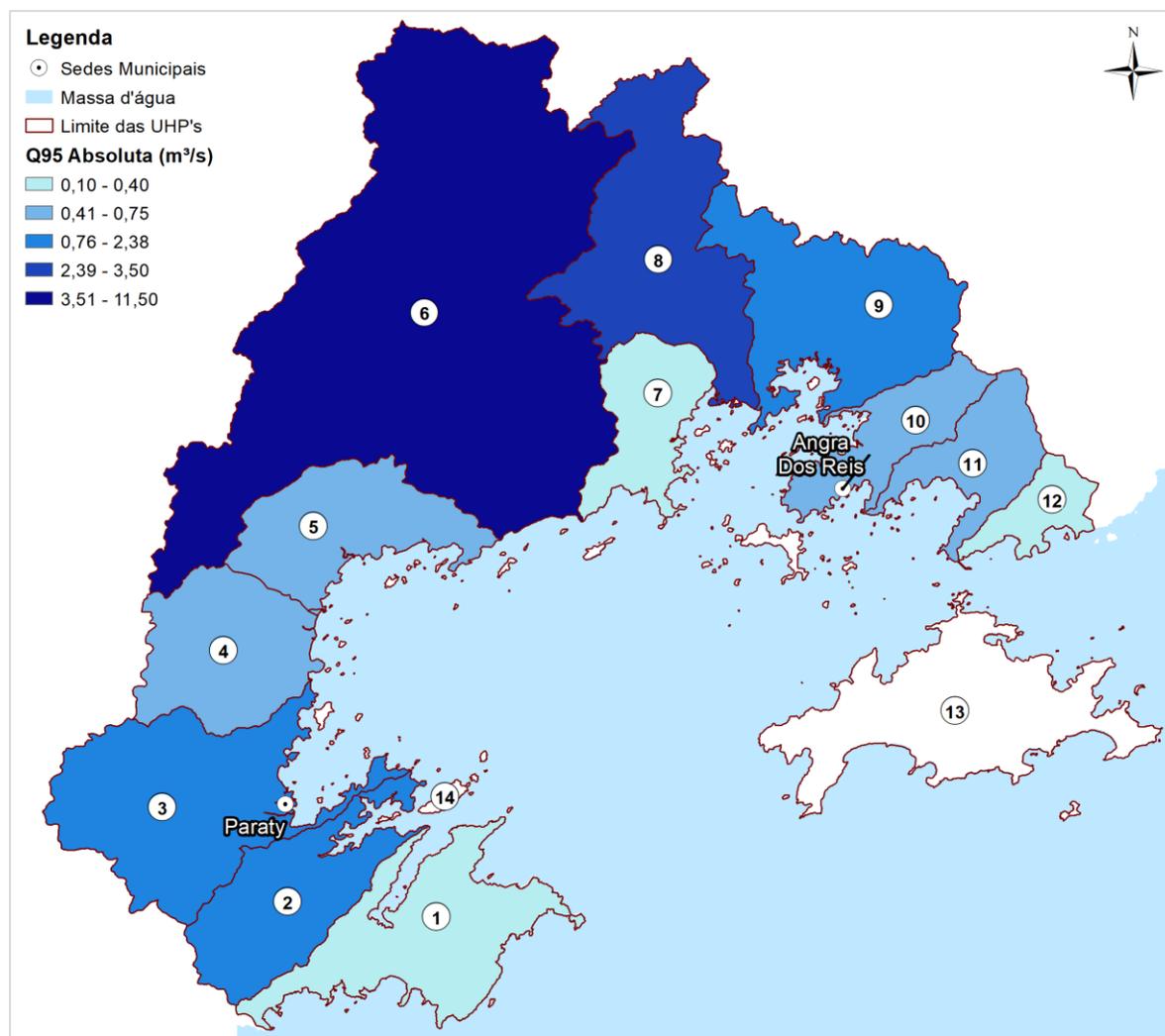


Fonte: Elaboração própria

Figura 2.42 – Disponibilidade Hídrica - Q95

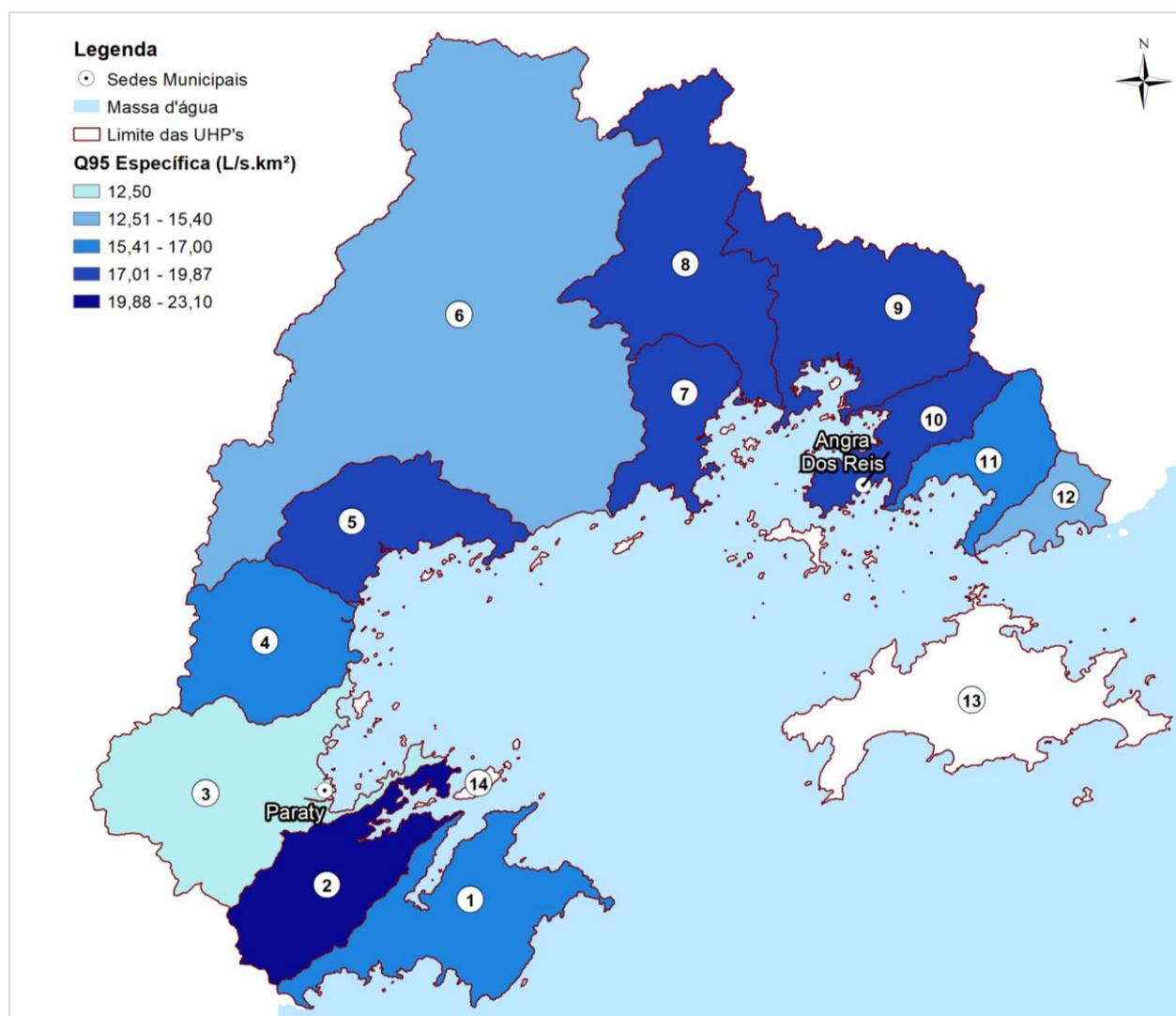


Abaixo, estão representados por UHP, os valores de vazão Q95 absoluta e Q95 específica (Figura 2.43 e Figura 2.44, respectivamente) e vazão Qmlt absoluta e Qmlt específica (Figura 2.45 e Figura 2.46, respectivamente).



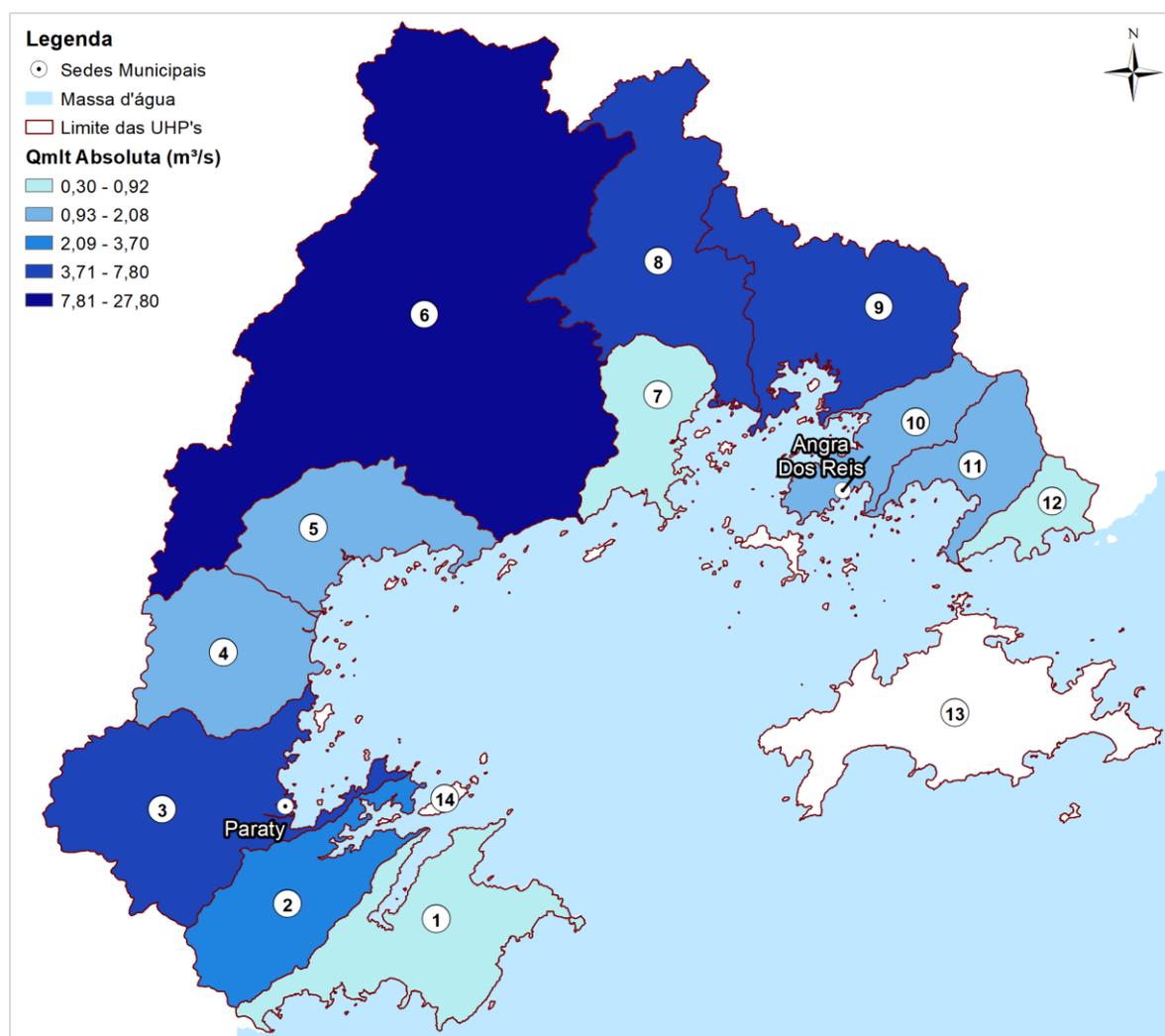
Fonte: Elaboração própria.

Figura 2.43 – Vazão Absoluta - Q95



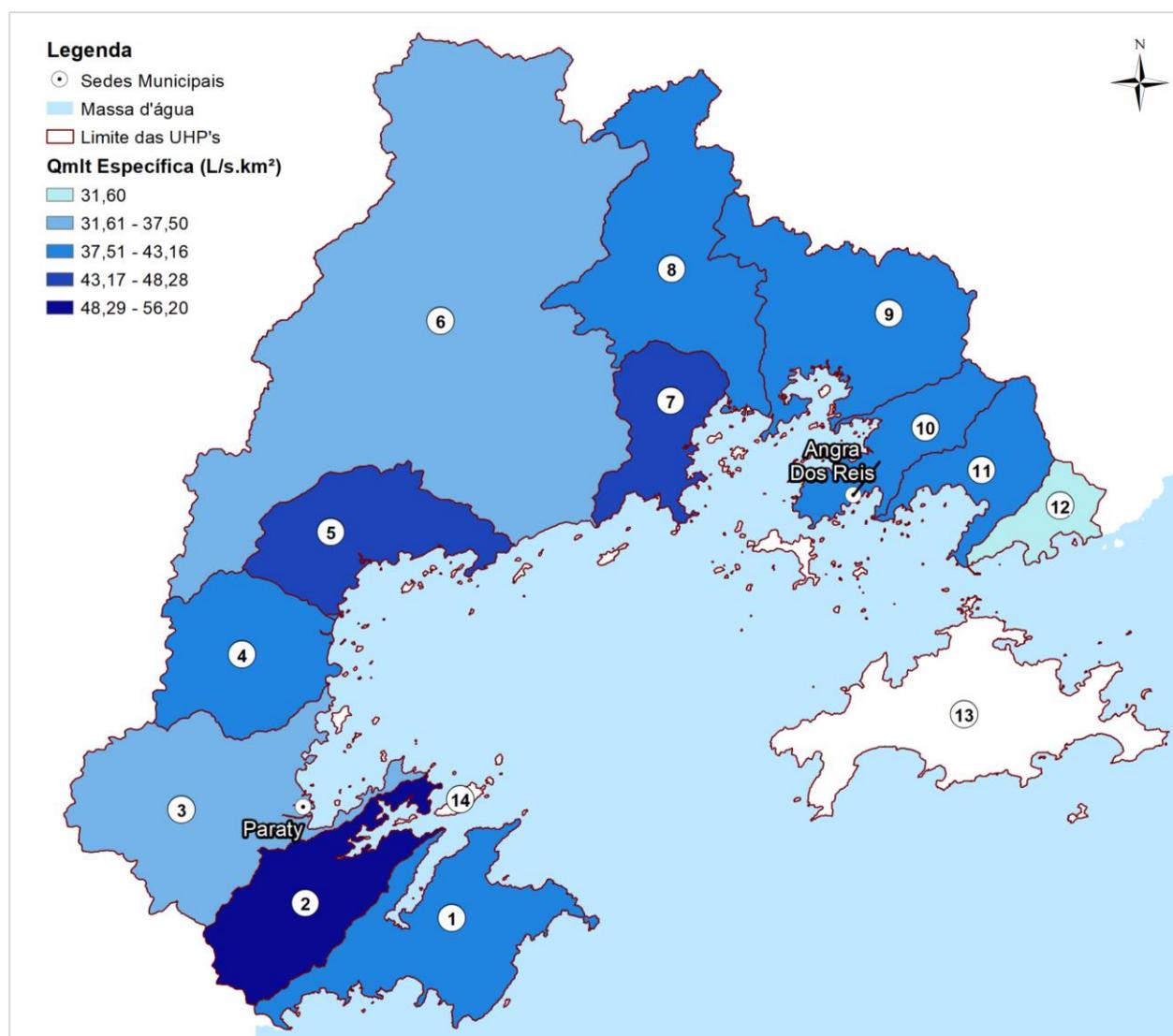
Fonte: Elaboração própria.

Figura 2.44 – Vazão Específica - Q95



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2.45 – Vazão Absoluta - Qmlt



Fonte: Elaboração própria.

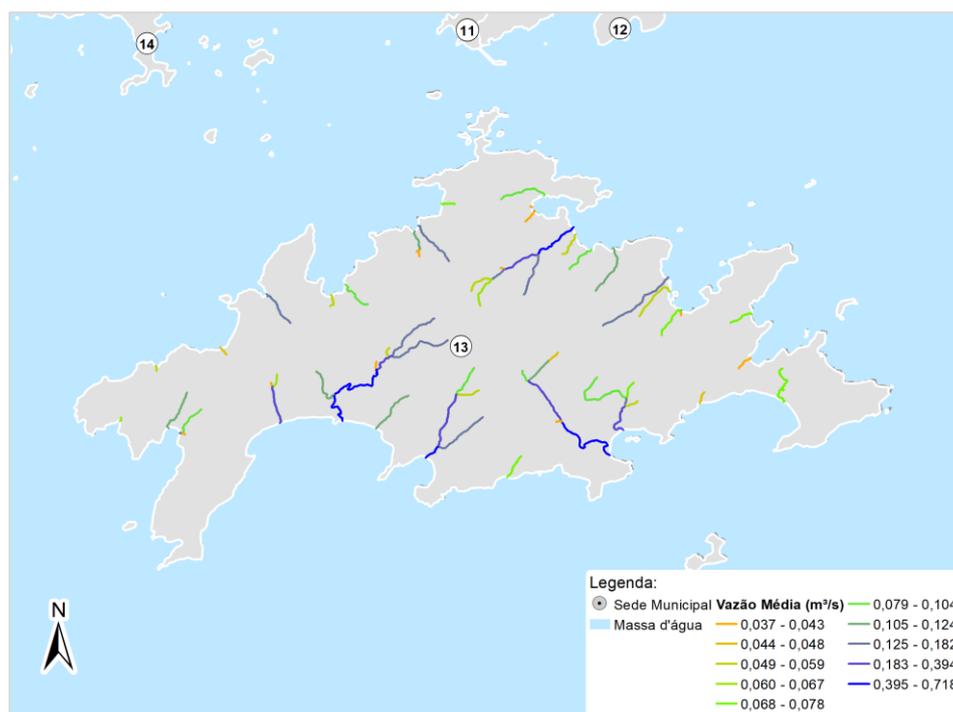
Figura 2.46 – Vazão Específica - Qmt

### 2.3.2. DISPONIBILIDADE NA UHP 13 – ILHA GRANDE

A disponibilidade hídrica da UHP 13, referente à Ilha Grande, foi obtida considerando 68 trechos de rios, delimitados conforme apresentado anteriormente no item 3.1. A maior vazão média calculada é de 0,709 m³/s, relativo ao maior curso hídrico da ilha, localizado na porção sul, que não apresenta nome específico no banco de dados do IBGE. Por outro lado, um dos principais mananciais da Ilha, intitulado como Rio Andorinhas ou Barra Grande (segundo o banco de dados do IBGE), apresenta vazão média de 0,546 m³/s, e uma vazão de estiagem Q95 igual a 0,226 m³/s. Outro grande curso hídrico da ilha, o Córrego da Enseada da Estrela, também apresenta uma das maiores disponibilidades hídricas da ilha. No caso, uma vazão média de 0.460 m³/s e uma vazão de estiagem Q95 igual a 0,190 m³/s.

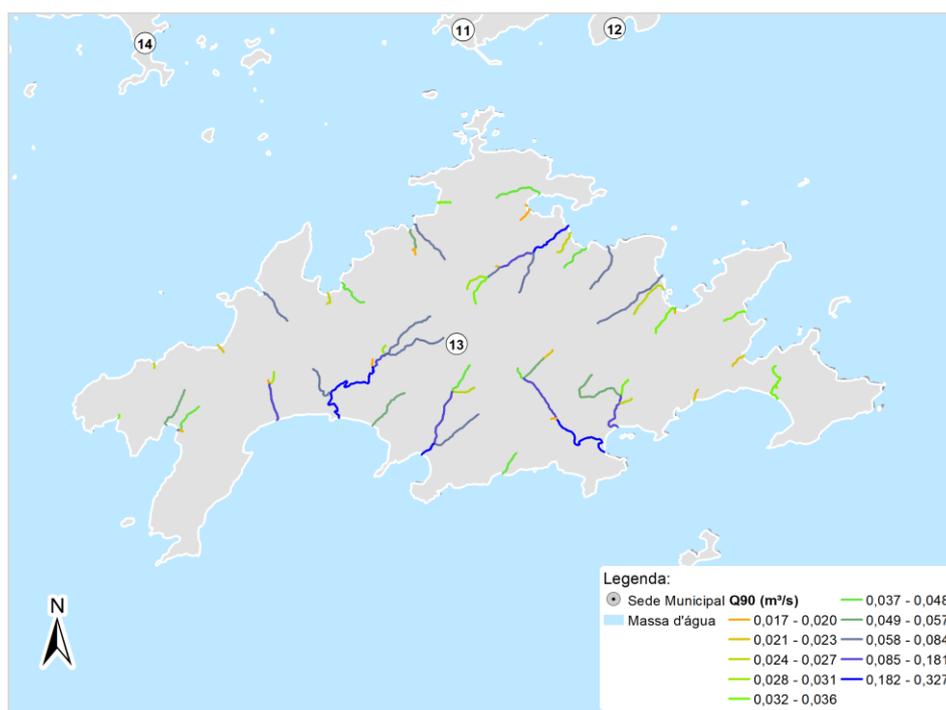


De forma conjunta, os resultados de disponibilidade hídrica para a UHP-13, podem ser visualizados na Figura 2.47, para a vazão média, na Figura 2.48 para a  $Q_{90}$  e na Figura 2.49 para a  $Q_{95}$ . Ainda, como a área referente à Ilha Grande é relativamente pequena, é possível a apresentação de cada trecho de rio por código, para facilitar a obtenção dos dados de vazão por meio de tabelas. Dessa forma, a Figura 2.50 mostra os códigos (em forma de croqui, numerados de 1 a 68) dos principais cursos hídricos da Ilha Grande. E, a partir destes códigos, é possível a obtenção dos dados de vazão de cada trecho de rio utilizando o Quadro 2.12.



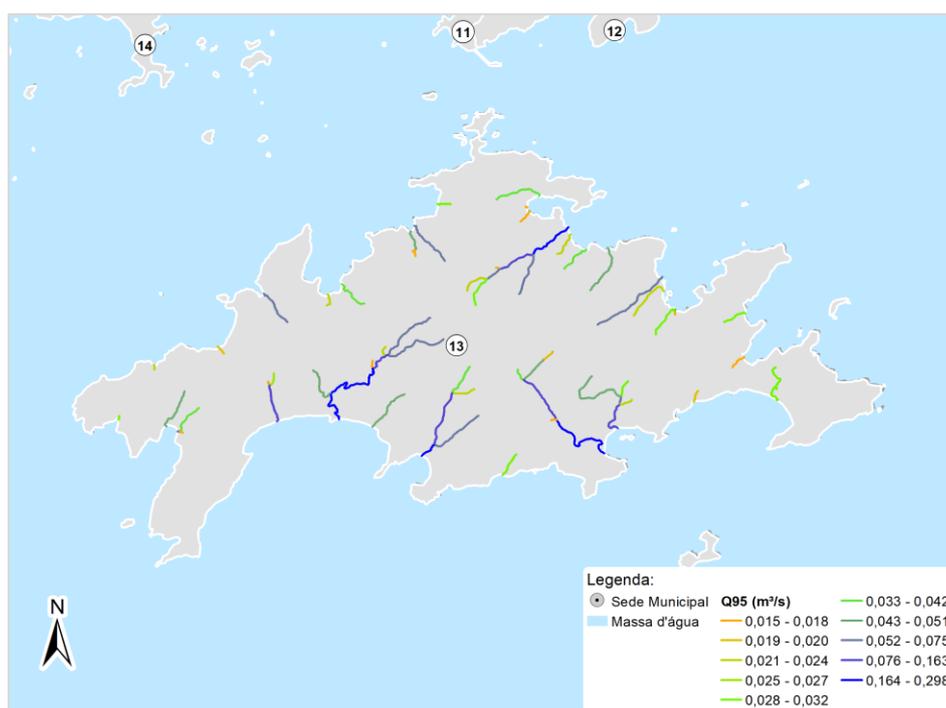
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.47 – Vazões Médias para a UHP 13



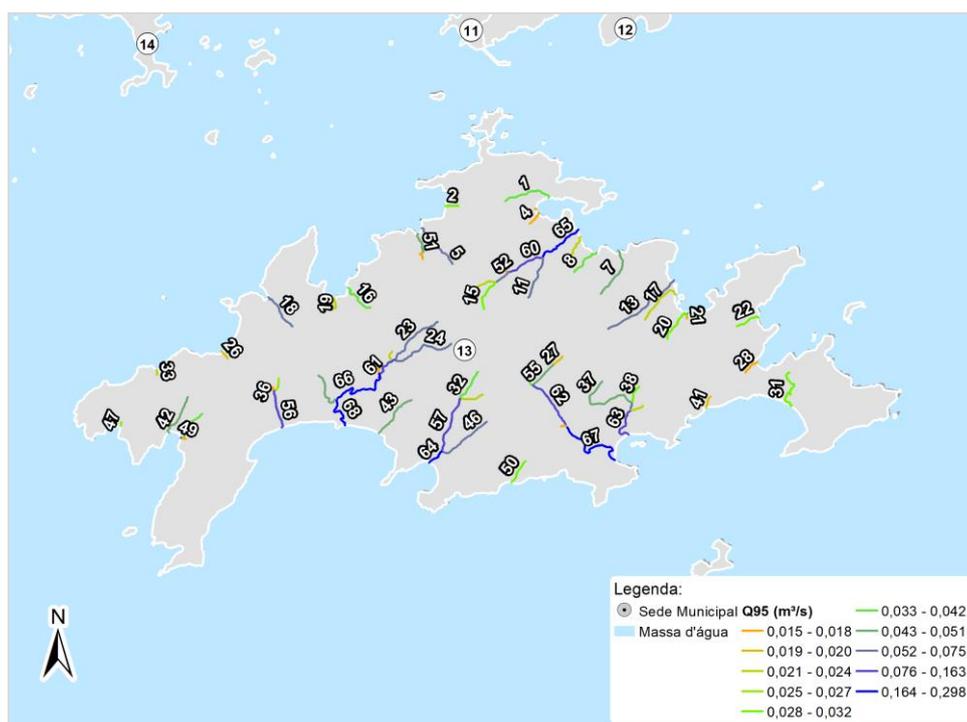
Fonte: Elaboração própria

Figura 2.48 – Q90 para a UHP 13



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.49 – Q95 para a UHP 13



Fonte: Elaboração própria

Figura 2.50 – Código dos Cursos Hídricos

Quadro 2.12 – Vazões de Referência por código para os cursos hídricos da UHP 13.

Cód igo	Área de Montante (km <sup>2</sup> )	Precipitação Média (mm/ano)	Qmed (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	Q95 (m <sup>3</sup> /s)	Q7_10 (m <sup>3</sup> /s)	Nome
1	2.4	1620.8	0.101	0.080	0.047	0.041	0.033	
2	1.7	1650.9	0.072	0.058	0.034	0.029	0.024	
3	1.0	1610.0	0.041	0.033	0.019	0.016	0.013	
4	1.0	1612.0	0.043	0.035	0.020	0.017	0.014	
5	3.4	1657.5	0.147	0.116	0.068	0.060	0.048	Corrego Araçatiba
6	1.3	1624.6	0.055	0.045	0.026	0.022	0.018	
7	3.1	1604.0	0.132	0.104	0.061	0.054	0.043	
8	2.4	1614.6	0.101	0.080	0.047	0.041	0.033	
9	1.0	1665.3	0.042	0.034	0.020	0.017	0.014	
10	1.0	1649.3	0.042	0.034	0.020	0.017	0.014	
11	3.6	1628.6	0.152	0.120	0.070	0.062	0.050	
12	1.0	1625.5	0.042	0.035	0.020	0.017	0.014	
13	3.3	1610.5	0.142	0.112	0.065	0.058	0.046	
14	1.5	1639.3	0.061	0.049	0.028	0.025	0.020	
15	1.7	1635.3	0.070	0.056	0.032	0.028	0.023	
16	2.3	1712.0	0.098	0.078	0.046	0.040	0.032	
17	1.4	1604.2	0.059	0.048	0.027	0.024	0.019	
18	3.4	1750.9	0.143	0.113	0.066	0.059	0.047	
19	1.3	1718.1	0.054	0.044	0.025	0.022	0.018	
20	1.8	1598.8	0.077	0.062	0.036	0.031	0.025	
21	1.0	1585.5	0.041	0.034	0.019	0.017	0.013	
22	1.9	1555.8	0.080	0.064	0.037	0.033	0.026	
23	3.4	1684.3	0.145	0.114	0.067	0.059	0.047	
24	3.4	1681.4	0.147	0.116	0.068	0.060	0.048	
25	1.4	1717.1	0.058	0.047	0.027	0.023	0.019	
26	1.1	1761.7	0.045	0.037	0.021	0.018	0.015	Córrego Araçatiba
27	1.2	1630.6	0.050	0.041	0.023	0.020	0.016	
28	1.1	1556.0	0.047	0.039	0.022	0.019	0.015	



Cód igo	Área de Montante (km²)	Precipitação Média (mm/ano)	Qmed (m³/s)	Q50 (m³/s)	Q90 (m³/s)	Q95 (m³/s)	Q7_10 (m³/s)	Nome
29	0.9	1631.4	0.039	0.032	0.018	0.016	0.013	
30	1.0	1728.0	0.042	0.034	0.020	0.017	0.014	
31	1.9	1509.5	0.080	0.064	0.037	0.033	0.026	
32	2.5	1658.9	0.105	0.084	0.049	0.043	0.034	Córrego do Parnaiooca
33	1.2	1796.6	0.050	0.041	0.023	0.020	0.016	
34	2.2	1641.8	0.094	0.075	0.044	0.038	0.031	Rio Andorinhas ou Barra Grande
35	2.8	1772.6	0.119	0.094	0.055	0.049	0.039	
36	1.5	1778.9	0.061	0.049	0.028	0.025	0.020	
37	2.6	1625.4	0.109	0.087	0.050	0.044	0.036	
38	1.8	1613.5	0.075	0.060	0.035	0.031	0.025	
39	1.0	1767.4	0.040	0.033	0.019	0.016	0.013	
40	1.3	1656.8	0.055	0.045	0.026	0.022	0.018	
41	1.2	1575.8	0.050	0.040	0.023	0.020	0.016	
42	2.5	1803.8	0.106	0.084	0.049	0.043	0.034	
43	2.7	1708.8	0.113	0.090	0.052	0.046	0.037	
44	1.4	1597.7	0.060	0.048	0.028	0.024	0.020	
45	2.0	1786.9	0.085	0.068	0.040	0.035	0.028	
46	3.2	1658.5	0.138	0.109	0.064	0.056	0.045	Corrego do Rezingueira
47	1.5	1840.5	0.062	0.050	0.029	0.025	0.020	
48	1.1	1636.6	0.044	0.036	0.020	0.018	0.014	
49	1.0	1780.2	0.040	0.032	0.019	0.016	0.013	
50	1.9	1638.7	0.081	0.065	0.037	0.033	0.026	
51	2.9	1669.9	0.124	0.098	0.057	0.051	0.040	
52	3.6	1633.3	0.153	0.121	0.071	0.063	0.050	Córrego da Enseada da Estrela
53	2.8	1592.0	0.120	0.095	0.056	0.049	0.039	
54	6.9	1706.0	0.298	0.230	0.137	0.123	0.097	
55	2.8	1629.8	0.120	0.095	0.056	0.049	0.039	
56	5.3	1773.4	0.227	0.176	0.104	0.093	0.074	
57	6.3	1665.7	0.273	0.211	0.125	0.112	0.089	Córrego do Parnaiooca
58	4.5	1613.0	0.192	0.150	0.089	0.079	0.063	
59	3.0	1783.5	0.128	0.101	0.059	0.052	0.042	
60	5.8	1631.5	0.252	0.196	0.116	0.104	0.082	Córrego da Enseada da Estrela
61	8.9	1727.0	0.388	0.297	0.178	0.160	0.127	
62	7.9	1625.4	0.345	0.265	0.158	0.142	0.113	Rio Andorinhas ou Barra Grande
63	7.2	1615.0	0.312	0.241	0.143	0.129	0.102	
64	10.8	1662.9	0.471	0.359	0.216	0.195	0.154	Córrego do Parnaiooca
65	10.5	1632.4	0.460	0.351	0.210	0.190	0.151	Córrego da Enseada da Estrela
66	12.8	1711.5	0.562	0.427	0.257	0.233	0.184	
67	12.4	1628.0	0.546	0.414	0.249	0.226	0.179	Rio Andorinhas ou Barra Grande
68	16.1	1719.7	0.709	0.535	0.324	0.295	0.233	

Fonte: Elaboração própria



### 2.3.3. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Em geral, observa-se que a constituição do modelo MGB para a região da Baía da Ilha Grande se mostrou bastante eficiente, sendo validado a partir de diversas metodologias, mostrando resultados hidrológicamente coerentes para os pontos de validação.

Entretanto, dentre as vazões de estiagem avaliadas e apresentadas no Quadro 2.11, é destacada a  $Q_{7,10}$  do Rio Perequê-Açú, que apresenta o valor de 8,3 L/s.km<sup>2</sup>. Este dado de vazão está aparentemente baixo e discrepante dos demais. Porém, o seu valor está certo e neste item é apresentado o motivo pelo qual essa vazão de estiagem parece estar fora da ordem de grandeza das demais.

Inicialmente, destaca-se que, em geral, para bacias pequenas, a contribuição das chuvas se apresenta com um papel mais relevante do que para bacias maiores, uma vez que o volume de água subterrânea disponível para manutenção da vazão em épocas de estiagem é diminuto. Adicionalmente, como mostrado anteriormente, o regime de chuvas da região é bastante distinto, apresentando grande variabilidade sazonal e também variabilidade espacial. A hipsometria e geomorfologia das bacias hidrográficas contribuem diretamente para esta sazonalidade, principalmente no sentido de propiciar chuvas orográficas na região.

Na questão específica da vazão de estiagem do Rio Perequê-Açú, foi avaliada a precipitação média anual da bacia no período simulado, observando-se (a partir da Figura 2.10) que essa foi a bacia com menor chuva anual média de todas estudadas (com algo da ordem de 1.600 mm). Dessa forma, era de se esperar que, especificamente nessa bacia, as vazões de estiagem extrema (em L/s.km<sup>2</sup>) fossem menores que as demais. E esse comportamento de fato foi observado, não só para a  $Q_{7,10}$  mas também para outras vazões de referência de estiagem, como a Q90 e Q95.

Além desta questão, observa-se que a bacia do Rio Perequê-Açú é uma das sub-bacias que possui dados observados desde a década de 60, o que permitiu avaliar qual foi a  $Q_{7,10}$  estimada (para o período de 1980 - 2010) utilizando dados reais a partir da Estação Fluviométrica Parati - 59380000. O modelo MGB apresentou como resultado no local da estação um valor de  $Q_{7,10}$  igual a 9,40 L/s.km<sup>2</sup>. Enquanto isso, realizando o mesmo cálculo com os dados reais, chegasse a um valor de 9,08 L/s.km<sup>2</sup>, representando, portanto, um erro de 3,5%. Dessa forma, mesmo que a área de drenagem da estação Parati seja de 79,18 km<sup>2</sup>, e do Rio Perequê-Açú (medida a partir do seu encontro com o mar) seja da ordem de 163,7km<sup>2</sup>, conclui-se que as vazões de estiagem estimadas no final da bacia do Rio Perequê-Açú (8,3 L/s.km<sup>2</sup> em relação à  $Q_{7,10}$ ) realmente deveriam ser da ordem de 9 L/s.km<sup>2</sup>, o que de fato é observado.



No âmbito da obtenção de resultados para a UHP13 é importante ressaltar, por fim, a impossibilidade de validação dos dados uma vez que não existem estações de monitoramento hidrológico na ilha. Entretanto, considera-se que a metodologia aqui empregada foi a melhor e mais acurada possível para geração dos dados de vazão de referência para esta UHP.



### 3. RESULTADOS PRELIMINARES QUALITATIVOS

A avaliação qualitativa dos recursos hídricos existentes na Baía da Ilha Grande partiu da obtenção e interpretação dos dados de qualidade da água medidos em estações de monitoramento, pertencentes a instituições como a ANA (Agência Nacional de Águas) e ao próprio Inea (Instituto Estadual do Ambiente). Além disso, relatórios anteriores também foram utilizados para este propósito.

Este capítulo se inicia, portanto, com uma breve apresentação dos parâmetros aqui avaliados:

- *Oxigênio Dissolvido (OD) é um parâmetro que consiste na concentração de oxigênio presente na água, quantificado em mg/L. É um parâmetro essencial na avaliação de qualidade da água, já que está envolvido com diversos processos químicos e biológicos.*

- *Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer estabilização da matéria orgânica biodegradável existente. Sendo assim, trata-se de um indicador importante de contaminação por efluentes com elevada carga orgânica. Na prática, é empregada a medição da  $DBO_{5,20}$ , em mg/L, que faz referência à matéria orgânica degradada à temperatura de 20°C durante um ensaio de 5 dias.*

- *Fósforo Total é um parâmetro que, quando elevado, sinaliza problemas de eutrofização em corpos hídricos, já que se trata de um nutriente essencial para o crescimento de algas e fitoplânctons.*

- *Nitrogênio é também um nutriente associado a problemas de eutrofização em corpos hídricos, e é quantificado a partir de concentrações de Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Orgânico e Nitrogênio Amoniacal, entre outras formas.*

- *Potencial Hidrogeniônico (pH) é um parâmetro que influencia na dinâmica de diversos compostos químicos presentes em corpos hídricos. O valor do pH pode sofrer alterações por razões naturais (por exemplo, dissolução natural de rochas), ou por motivos antrópicos, como a descarga de efluentes em corpos hídricos.*

- *Turbidez é um parâmetro que representa o grau de interferência da passagem de luz por determinada solução e está associada à presença de sólidos suspensos.*

- *Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) é um parâmetro que pode ser indicativo de erosão com aporte de sedimentos para corpos hídricos, mas também pode indicar disposição inadequada de efluentes.*



• *Coliformes Termotolerantes é um parâmetro indicador de contaminação fecal em corpos hídricos, que caracteriza o potencial de transmissão de doenças de veiculação hídrica. É quantificado em NMP/100 mL, isto é, densidade média de bactérias do grupo coliforme contidas em 100 mL de amostra.*

• *Temperatura da Água é uma variável de importância para a dinâmica energética e metabólica de corpos hídricos, pois regula propriedades como a solubilidade dos gases, viscosidade e tensão superficial da água, com impacto para as diferentes formas de vida presentes em corpos hídricos. É regulada tanto pelas variações climáticas locais, mas também por ações antrópicas, como o despejo de efluentes com gradientes de temperatura elevados. De forma complementar, o parâmetro de Temperatura do Ar é também coletado, pois apresenta influência sobre a temperatura da água. São variáveis importantes como dados de entrada na modelagem da qualidade da água em corpos hídricos.*

O agrupamento dos parâmetros descritos pode ser efetuado a partir da utilização do IQA - Índice de Qualidade da Água, que é o indicador de qualidade da água mais utilizado no Brasil. A partir do IQA (também mensurado em grande parte das estações da RH-I), a qualidade da água dos corpos hídricos é classificada entre Muito Ruim e Ruim (impróprias para tratamento convencional visando ao abastecimento público), ou Excelente, Boa e Média (águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público), conforme ilustrado na Figura 3.1.

Categoria de Resultados		IQA <sub>NISF</sub>	Significado
	EXCELENTE	$100 \geq \text{IQA} \geq 90$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público
	BOA	$90 > \text{IQA} \geq 70$	
	MÉDIA	$70 > \text{IQA} \geq 50$	
	RUIM	$50 > \text{IQA} \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
	MUITO RUIM	$25 > \text{IQA} \geq 0$	

Fonte: Inea (2015)

Figura 3.1 – Parâmetros empregados no cálculo do IQA

A partir do monitoramento realizado pelo Inea em 2017 para a Baía da Ilha Grande, foi possível observar que das 15 estações avaliadas (com coleta trimestral de amostras) 12 apresentaram IQA Médio, e 3 estações apresentaram IQA Ruim (MI0010, MB0080 e CT0050), dando indícios iniciais a respeito da qualidade das águas dos cursos hídricos existentes na Baía da Ilha Grande.

Deve ser ressaltado, ainda, que o objetivo deste relatório preliminar não é a aplicação do IQA nos recursos hídricos da RH-I, e sim avaliar dados atualmente disponíveis para a etapa de simulação de qualidade da água. Dessa forma, essa etapa foi realizada a partir da avaliação de



todos os dados disponíveis e comparação dos dados de qualidade da água com os limites impostos por resoluções pertinentes, como a CONAMA 357/2005.

### 3.1. FORMA DE AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

A forma de avaliação dos parâmetros de qualidade partiu da comparação das concentrações mensuradas com os limites impostos pela resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. As águas doces são enquadradas nas classes: especial, 1, 2, 3 e 4, sendo que a classe especial apresenta os melhores parâmetros de qualidade da água, e, portanto, os usos mais nobres, enquanto a classe 4 apresenta os usos mais restritivos, já que apresenta os piores parâmetros de qualidade da água.

No presente estudo, os valores orientadores da CONAMA 357/2005 serão considerados de forma individual para cada parâmetro, a fim de diagnosticar a qualidade da água em função dos parâmetros isoladamente. O Quadro 3.1 sumariza os valores orientadores da CONAMA 357/2005 para os parâmetros considerados no presente estudo.

Quadro 3.1 – Valores orientadores de parâmetros de qualidade da água adotados pela Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO	mg/L	< 3	< 5	< 10	< 10
OD	mg/L	> 6	> 5	> 4	> 2
Turbidez	UNT	< 40	< 100	< 100	< 100
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	< 200	< 1000	< 2500	< 2500
SDT	mg/L	< 500	< 500	< 500	< 500
Fósforo Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,15	< 0,15
Nitrato	mg/L	< 10	< 10	< 10	< 10

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005

### 3.2. DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA EXISTENTES NA BAÍA DA ILHA GRANDE

O monitoramento de qualidade da água da bacia da Baía da Ilha Grande é realizado pelo Inea. De forma complementar, existe uma estação da ANA (Agência Nacional de Águas), operada pela CPRM, na área de estudo. O Quadro 3.2 sumariza as estações com dados de qualidade da água presentes na região da bacia da Baía da Ilha Grande, bem como a Unidade de Planejamento Hidrológico (UHP) em que as estações estão localizadas, os parâmetros monitorados em cada estação, o número total de coletas já realizadas e o período de monitoramento. Enquanto isso, o croqui da Figura 3.2 apresenta a localização das estações de qualidade da água identificadas no Quadro 3.2.



Quadro 3.2 – Estações com Dados de Qualidade da água

Nº	Estação	Nº UHP	Nome do Rio	Nome UHP	Parâmetros monitorados	Coletas	Período: ano (nº de coletas)
1	ME0020	2	Rio dos Meros	Rio Paraty-Mirim	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
2	PM0090	2	Rio Paraty-Mirim	Rio Paraty-Mirim	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	10	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2018 (1)
3	CR0070	3	Rio Corisco	Rio Perequê-Açú	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
4	PE0024	3	Rio Perequê-Açú	Rio Perequê-Açú	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	8	2014 (4); 2015 (3); 2018 (1)
5	BG0040	4	Rio da Barra Grande	Rios Pequeno e Barra Grande	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
6	GU0100	4	Rio Graúna	Rios Pequeno e Barra Grande	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
7	MB0080	6	Rio Mambucaba	Rio Mambucaba	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
8	ANA59370000 (Faz. Fortaleza)	6	Rio Mambucaba	Rio Mambucaba	OD, pH, Turbidez, Condutividade, Temp. Água, Temp. Ar	39	2002 (2); 2003 (2); 2004 (3); 2005 (1); 2006 (1); 2009 (2); 2010 (4); 2011 (4); 2012 (4); 2013 (3); 2014 (3); 2015 (3); 2016 (3); 2017 (3); 2018 (1)
9	FR0010	7	Rio do Frade (Ambrósio)	Rios Grataú e do Frade	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
10	BC0060	8	Rio Bracuí	Rio Bracuí	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
11	CA0010	9	Rio Campo Alegre	Rio Ariró	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
12	CT0050	9	Rio Caputera	Rio Ariró	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
13	JM0030	9	Rio Jurumirim	Rio Ariró	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
14	MI0010	10	Rio do Meio (Japuíba)	Rio Japuíba	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
15	JC0010	11	Rio Jacuecanga	Rio Jacuecanga	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	11	2014 (4); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)
16	CG0010	12	Rio Cantagalo	Rio Jacareí	DBO, OD, Fósforo Total, Nitrato*, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, SDT, Temp. Água, Temp. Ar	10	2014 (3); 2015 (3); 2016 (2); 2017 (1); 2018 (1)

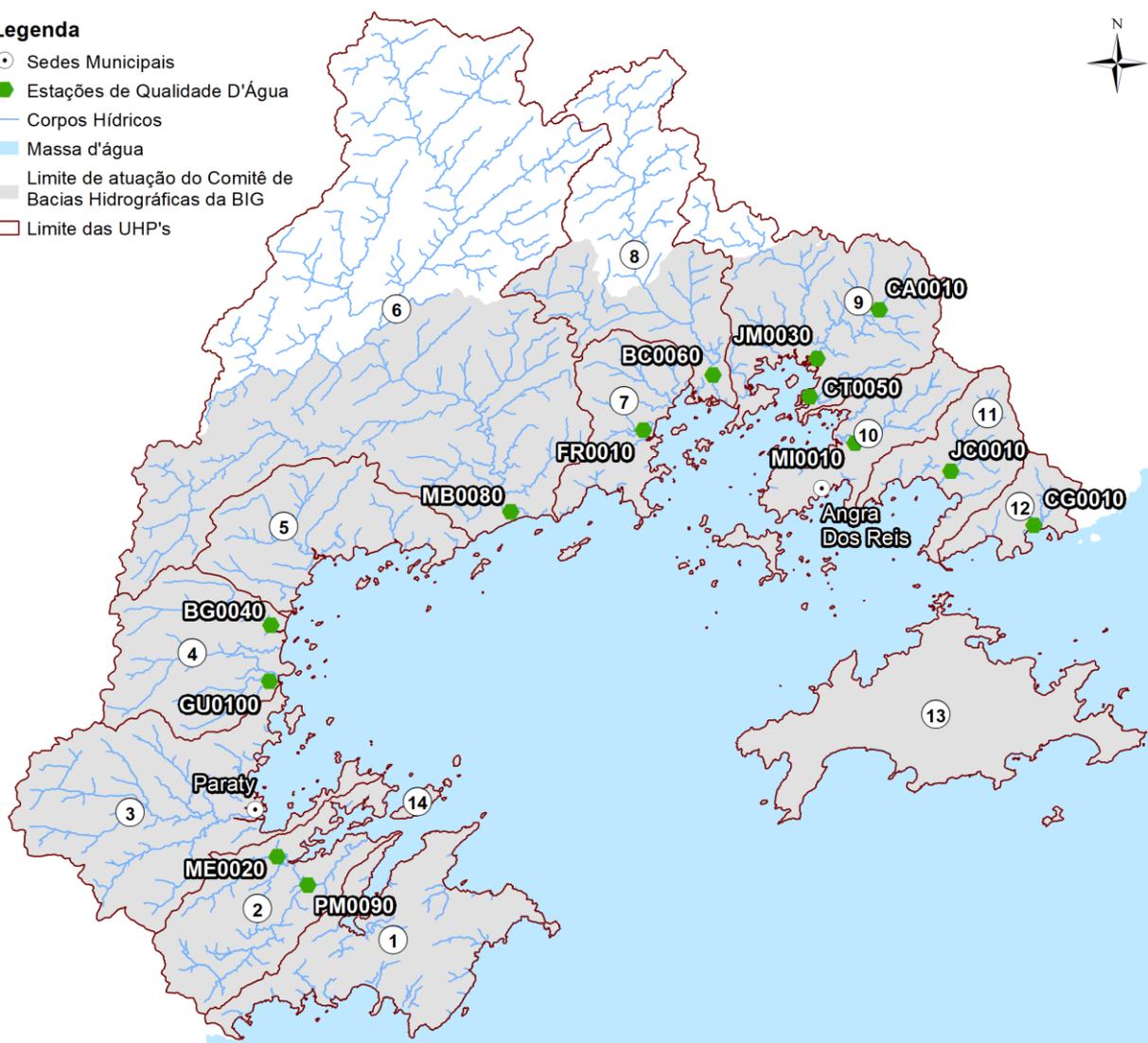
Fonte: Inea (2018), ANA (2018)

\*As análises de Nitrato ocorrem em aproximadamente 80% das coletas. Para todas as estações, cada ano apresenta pelo menos uma análise de Nitrato.



#### Legenda

- Sedes Municipais
- Estações de Qualidade D'Água
- Corpos Hídricos
- Massa d'água
- Limite de atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas da BIG
- Limite das UHP's



Fonte: Adaptado de Inea (2018) e ANA (2018)

Figura 3.2 – Croqui de localização das estações de Qualidade da água

### 3.3. AVALIAÇÃO GERAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BAÍA DA ILHA GRANDE

A avaliação geral da qualidade das águas da RH-I é realizada a partir da análise estatística dos dados existentes nas estações de monitoramento da qualidade da água dos principais cursos hídricos da Baía da Ilha Grande. Dessa forma, para cada estação, e para cada parâmetro, são avaliados individualmente as médias, medianas, percentis 75, valores históricos (máximos e mínimos) e últimos valores medidos.

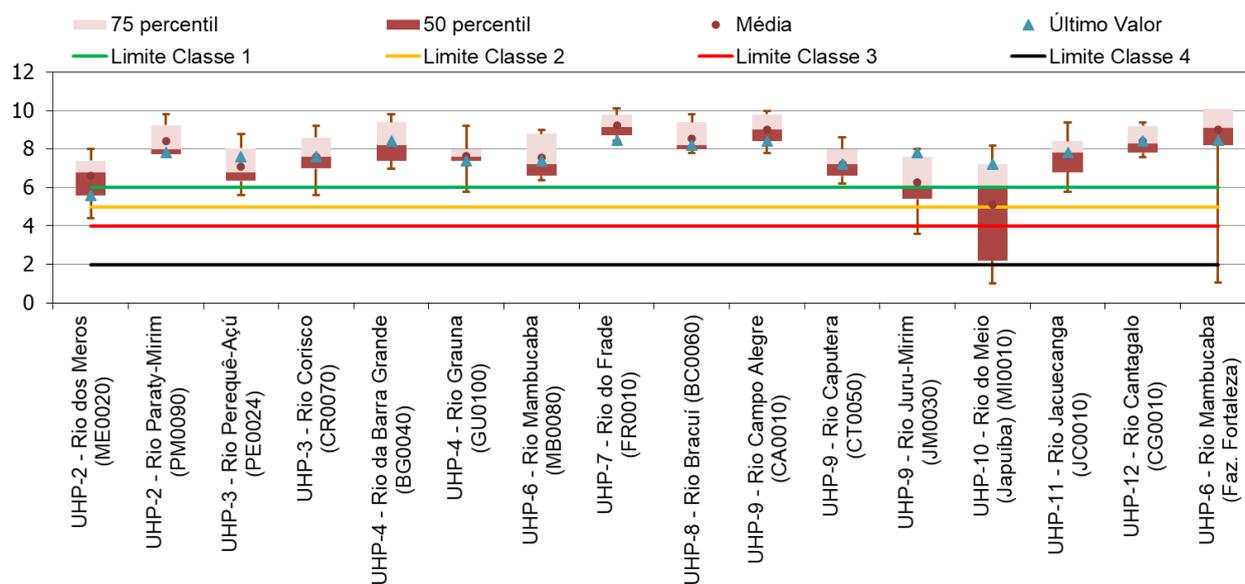
Em relação ao Oxigênio Dissolvido, de acordo com as últimas medições, a maioria das estações (todas, com exceção da ME0020) reletiram cursos hídricos com concentrações superiores ao limite de Classe 1 (OD não inferior a 6 mg/L), para este parâmetro. A estação



ME0020, no contexto da última medição, apresentou valores condizentes com enquadramento do curso hídrico em Classe 2 (OD não inferior a 5 mg/L).

Considerando a série temporal completa, a maior parte dos cursos hídricos monitorados apresentaram limites superiores aos limites de Classe 1, nunca apresentando OD inferior a 6 mg/L. Por outro lado, observou-se que para alguns já foram registrados valores inferiores a 6 mg/L (representados pelas estações CR0070, MI0010, GU0100, JC0010, JM0030, ME0020, PE0024 e ANA59370000). Ainda, os registros de OD inferiores a 4 mg/L nas estações MI0010 e ANA5937000 (representada pela legenda “Faz. Fort” nos gráficos a seguir) podem ser questionáveis, já que destoam muito do restante das séries.

O curso hídrico que apresenta pior condição em relação ao parâmetro de OD é o monitorado pela estação MI0010, cuja média é inferior a 6 mg/L, de modo que o valor mínimo chega a atingir menos de 2 mg/L. A Figura 3.3 apresenta esse perfil de concentrações de oxigênio dissolvido.



Fonte: Elaboração própria

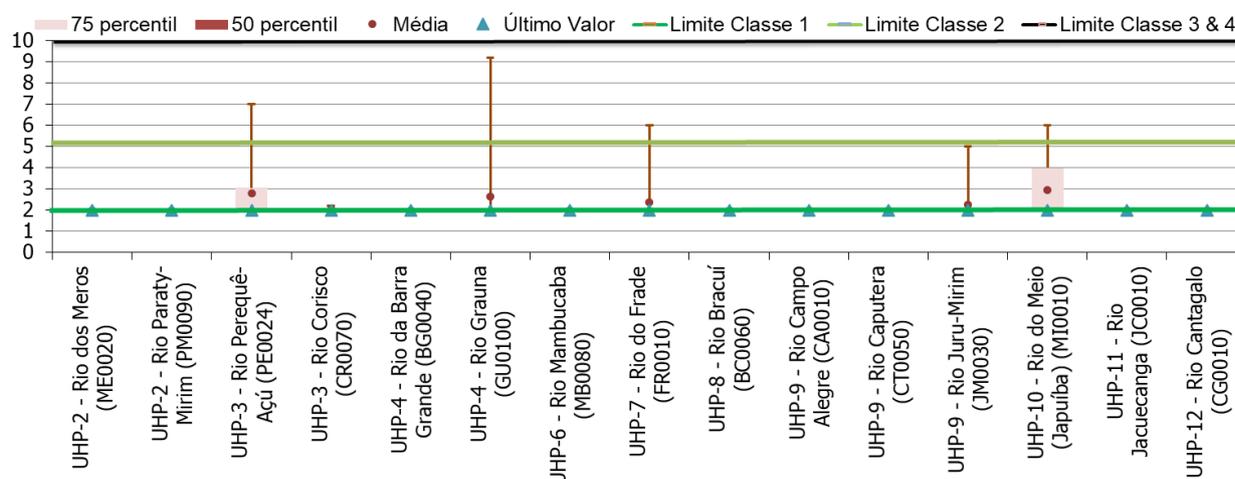
Figura 3.3 – Perfil de Concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Em relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as últimas medições, todas as estações mediram valores iguais ou inferiores a 2 mg/L, o que corresponde aos limites de Classe 1 (DBO até a 3 mg/L) para todos os cursos hídricos monitorados, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (Figura 3.4).

No entanto, algumas estações apresentam valores superiores de DBO para coletas anteriores: FR0010, GU0100, JM0030, MI0010 e PE0024, embora na média todos os valores se mantenham inferiores a 3 mg/L. O maior valor de DBO medido ocorreu na estação GU0100, em



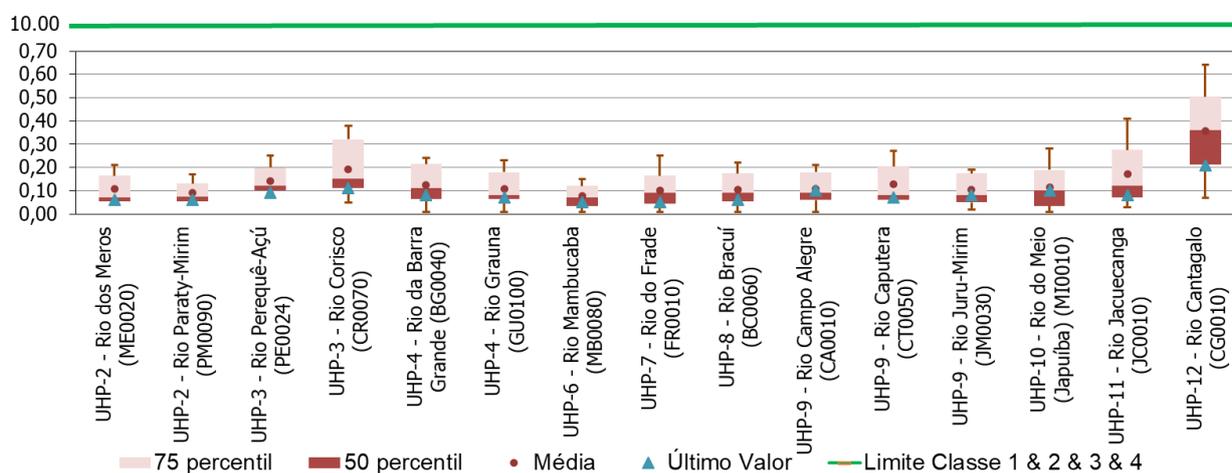
medição do ano de 2015, que enquadraria este corpo hídrico como Classe 3 (DBO até 10 mg/L) para este parâmetro.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.4 – Perfil de Concentrações de DBO (mg/L)

Quanto às concentrações de Nitrato (Figura 3.5), ressalta-se que todas as medições são inferiores a 1 mg/L, patamar inferior ao limite de 10 mg/L, para cursos hídricos de Classe 1, de acordo com CONAMA 357/2005. A estação com mais altas concentrações de nitrato é CG0010, com máximo de 0,64 mg/L, destacando-se que o limite para enquadramento em Classe 1 (de 10 mg/L) não é apresentado no quadro em função da escala.



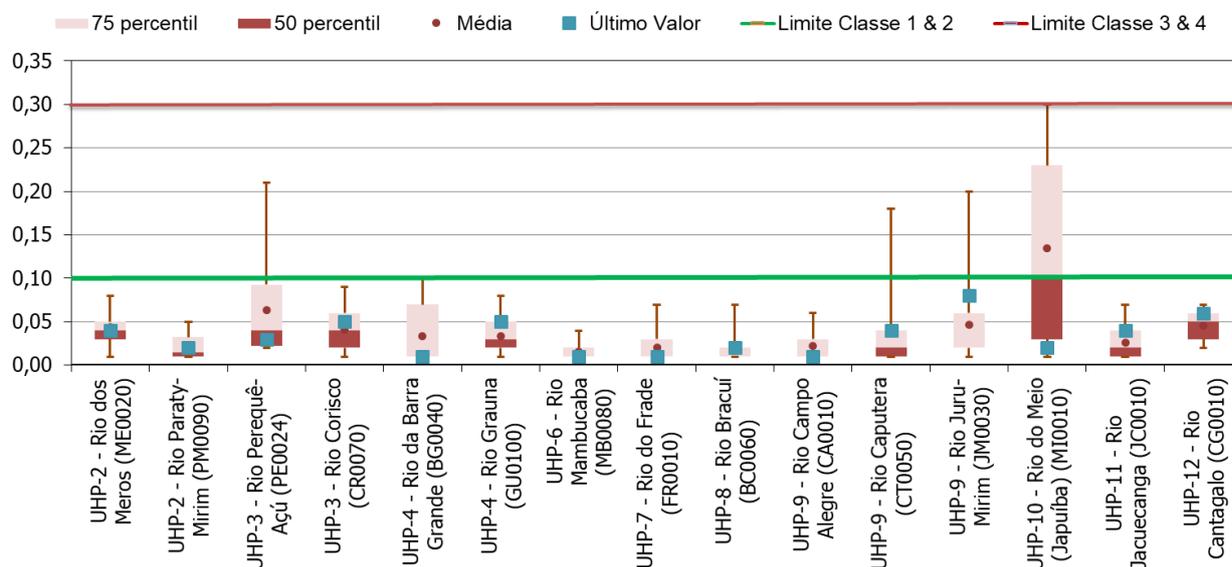
Fonte: Elaboração própria

Figura 3.5 – Perfil de Concentrações de Nitrato (mg/L)

As últimas medições de fósforo total (Figura 3.6) de todas as estações são inferiores a 0,10 mg/L, o que torna todos os respectivos cursos hídricos com limites de Classe 1 para este parâmetro, de acordo com a CONAMA 357/2005. No entanto, algumas estações excedem este limite em medições anteriores: CT0050, JM0030, MI0010 e PE0024, sendo que o caso mais grave é da MI0010, cuja média da série histórica é de 0,13 mg/L e o valor máximo é de 0,3 mg/L.



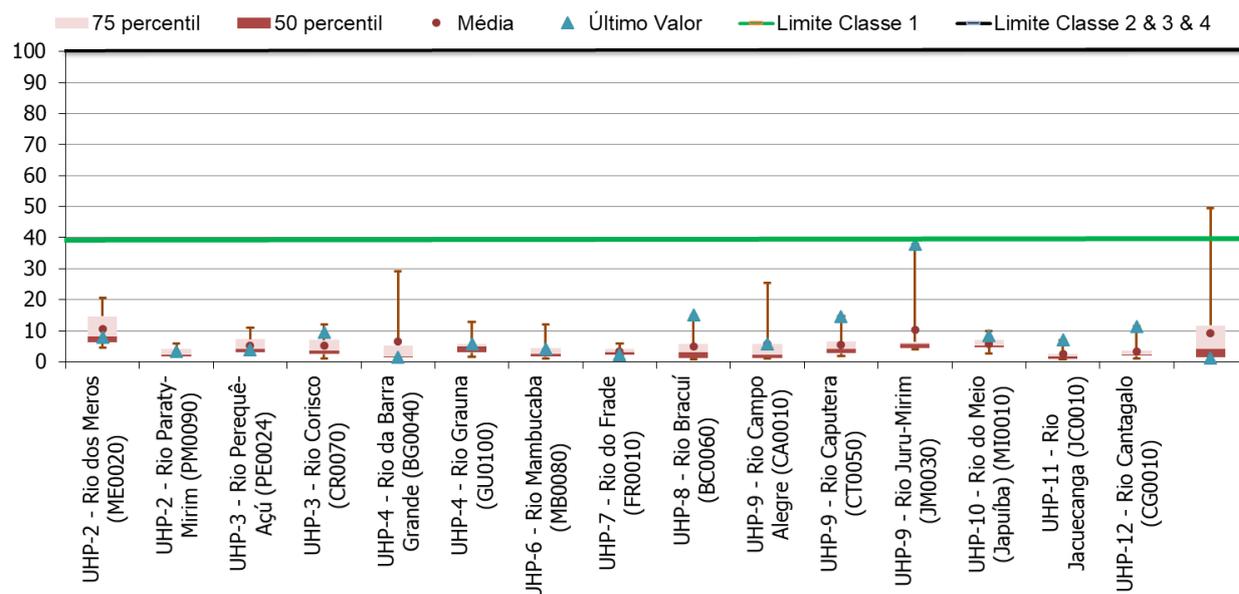
Para a estação MI0010, portanto, pode-se dizer que o curso hídrico monitorado pela mesma apresenta concentrações passíveis de enquadramento, para este parâmetro, na maior parte do tempo, como Classe 3.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.6 – Perfil de Concentrações de Fósforo Total (mg/L)

Quase todas as medições de turbidez (Figura 3.7), com exceção da estação ANA5937000 (Representa no gráfico da referida figura como “Faz. Fort”), são inferiores a 40 NTU, que é o limite máximo para corpos hídricos de Classe 1, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005. A estação ANA5937000 apresenta duas medições elevadas de turbidez: 49,5 e 40,4 NTU, mas os valores médios e da última medição são inferiores a 10 NTU. Depois da estação ANA5937000, a medição que apresenta valor mais elevado de turbidez é o último valor da estação JM0030.

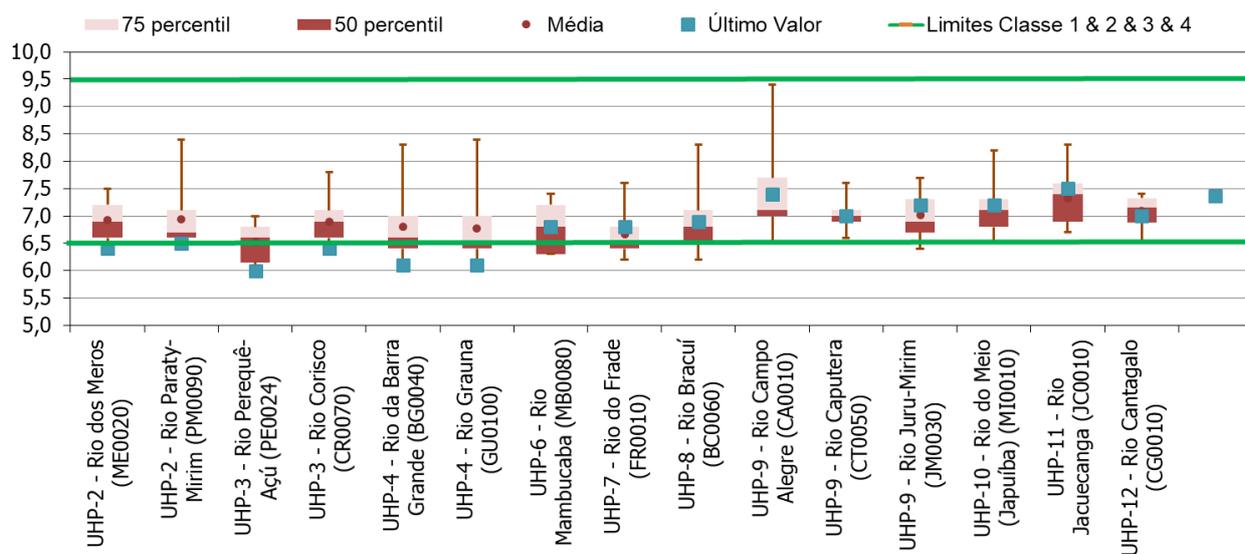


Fonte: Elaboração própria

Figura 3.7 – Perfil de Concentrações de Turbidez (NTU)

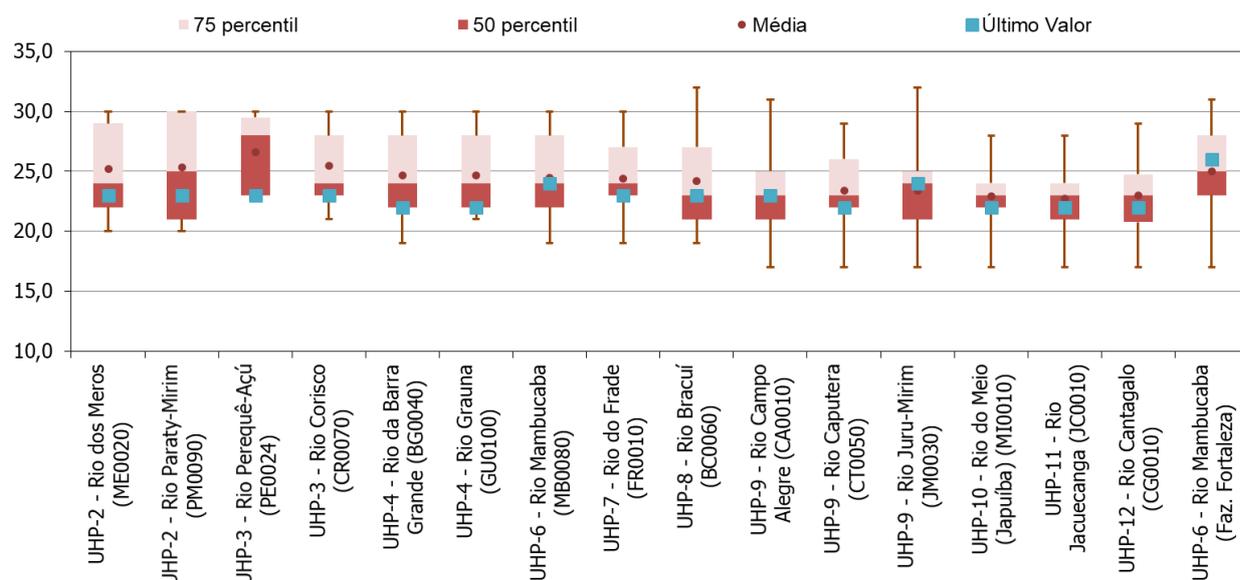
Da mesma forma, os últimos valores de pH para todos os cursos hídricos levantados (Figura 3.8) apresentam variação entre 6 e 9, que são os limites de cursos hídricos de Classe 1, de acordo com a CONAMA 357/2005. Apenas a estação CA0010 apresenta uma medição de pH levemente superior a 9 (medição de 2015). Ainda, a média geral de todos estes cursos hídricos mostraria um enquadramento de Classe 1 para quase sua totalidade.

Também foram avaliadas as séries históricas de medição para temperatura do ar e temperatura da água, que são informações importantes no âmbito de simulações de qualidade da água (Figura 3.9 e Figura 3.10). Os valores observados para estas variáveis se apresentam estáveis de uma forma geral, com gradientes de temperatura da ordem de 10 °C, tanto para o ar, quanto para a água. Ressalta-se, ainda, que o valor máximo de temperatura da água para enquadramento em Classe 1 (40 °C segundo a resolução CONAMA 357/2005) não foi observado em nenhuma estação.



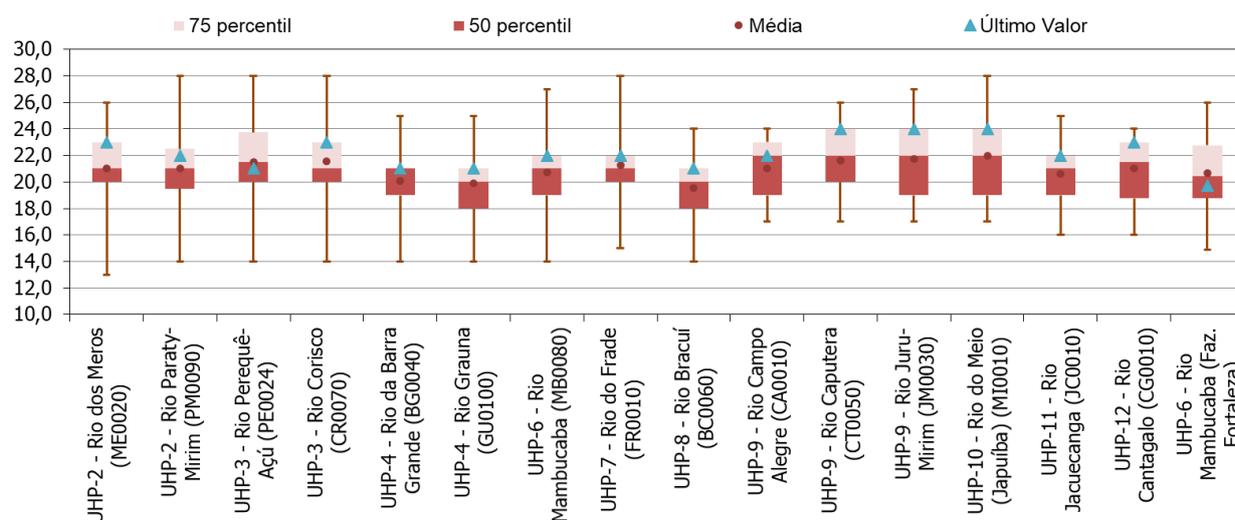
Fonte: Elaboração própria

Figura 3.8 – Perfil de valores de pH



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.9 – Temperatura do Ar (°C)



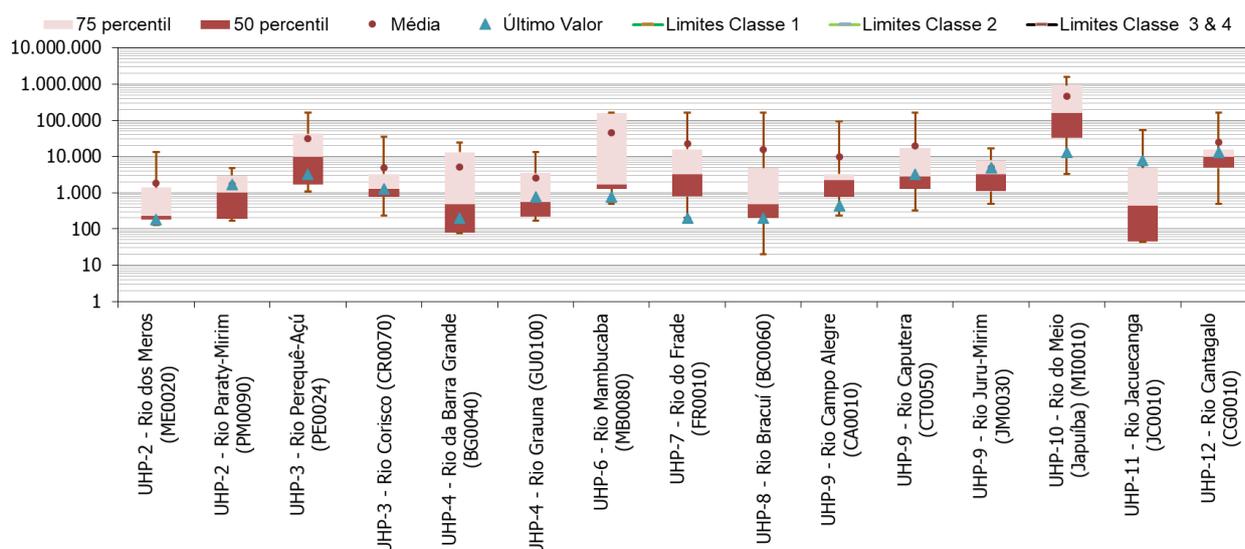
Fonte: Elaboração própria

Figura 3.10 – Temperatura da água (°C)

Quanto ao parâmetro coliformes fecais (Figura 3.11), os valores observados nas estações situam-se entre 100 e 13.000 NMP/100 mL. As estações cujos cursos hídricos apresentam patamares inferiores a rios de Classe 1 (<200 NMP/100ml) são BC0060, BG0040, FR0010 e ME0020. Já as estações CA0010, GU0100 e MB0080 apresentam valores passíveis dentro dos limites aceitáveis para cursos hídricos de Classe 2 (<1.000 NMP/100ml). Por fim, as estações CR0070, CT0050, PE0024 e PM0090 apresentam valores (relativos a última medição realizada) condizentes a cursos hídricos Classe 3 (<2.500 NMP/100ml para uso de recreação de contato secundário e <4000 NMP/100ml para outros usos).

As estações restantes, que apresentam valores (relativos a última medição realizada) superiores a 4.000 NMP/100mL são: CG0010, JC0010, JM0030 e MI0010, tem seus cursos hídricos, portanto, com concentrações relativas à Classe 4, para este parâmetro.

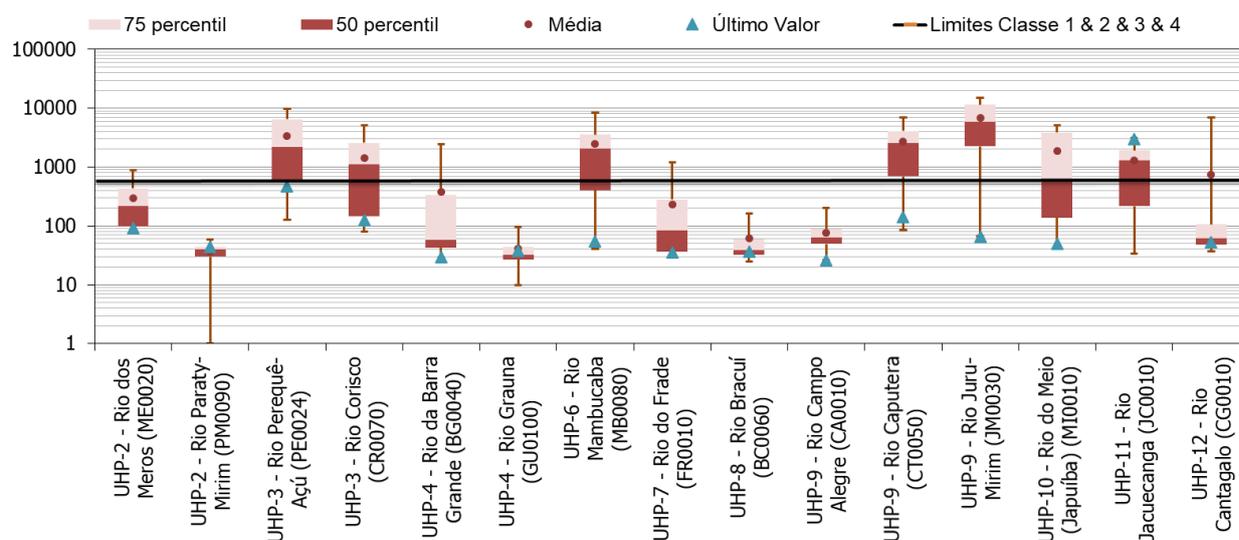
Se os valores médios das séries temporais forem considerados, a maioria das estações apresenta valores superiores a 4.000 NMP/100mL, com exceção das estações GU0100, ME0020 e PM0090. Em termos médios, a estação com piores resultados para coliformes termotolerantes é a MI0010, que excede 100.000 NMP/100mL, em média. Essa avaliação pode indicar, portanto, um grau considerável de contaminação dos cursos hídricos avaliados por Coliformes Fecais, com poucos cursos hídricos enquadrados como Classe 1, na média.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.11 – Coliformes Fecais (NMP/100 mL)

Por outro lado, considerando-se os Sólidos Totais Dissolvidos (Figura 3.12), observou-se que na última medição, todas as estações apresentam valores de acordo com este limite, com exceção da estação JC0010, cuja última medição resultou em aproximadamente 3.000 mg/L, o que é superior ao limite de 500 mg/L imposto pela resolução Conama 357/2005, para águas doces de Classe 1. Considerando as séries temporais completas, estações cujo valor médio está acima de 500 mg/L são, em ordem crescente de concentração de SDT: CG0010, JC0010, CR0070, MI0010, MB0080, CT0050, PE0024 e JM0030. Esta última estação (JM0030), que chega a apresentar concentração média de SDT superior a 6.500 mg/L, o que reflete concentrações relativas a cursos hídricos de Classe 4, para este parâmetro.



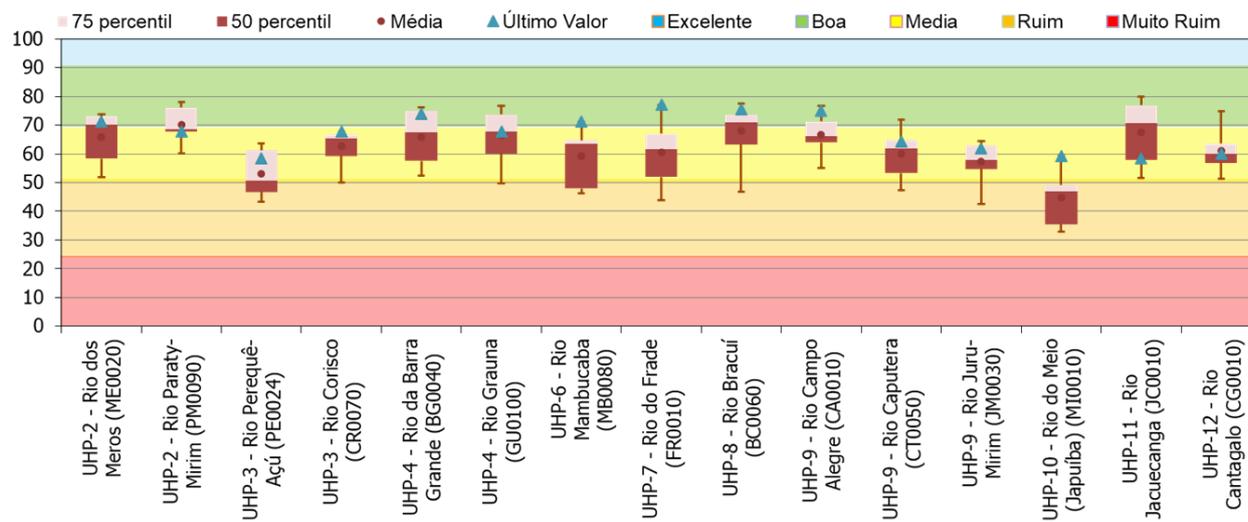
Fonte: Elaboração própria

Figura 3.12 – Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)



### 3.4. AVALIAÇÃO CONSOLIDADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BAÍA DA ILHA GRANDE

É possível se obter uma avaliação consolidada da qualidade das águas da Baía da Ilha Grande a partir da verificação dos IQAs (tanto em nível de série histórica, como em nível de últimos valores obtidos) calculados pelas instituições que operam as estações. Estes resultados são apresentados na Figura 3.13.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3.13 – Série histórica do IQA

Nas últimas medições, os cursos hídricos que apresentaram os piores índices de qualidade da água (IQA) foram aqueles monitorados pelas estações MI0010, PE0024, JC0010, CG0010 e JM0030, com IQAs de aproximadamente 60 (considerado “médio”). Seis estações apresentaram IQA superior a 70 nas últimas medições, o que corresponde à classificação de qualidade como “boa”. Ainda, se considerada a média ao longo do tempo, o Rio do Meio (monitorado pela estação MI0010) é o que apresenta pior qualidade, com valor médio de 44,7 (considerado “ruim”).

Em uma análise geral da bacia, a média de todos os cursos hídricos monitorados (na última medição) é de 60,3, enquanto que a média da série temporal é de 62,0, o que denota uma qualidade média das águas da área estudada.

Em termos médios, os cursos hídricos que apresentam condições mais críticas de qualidade da água são os monitorados pelas estações MI0010 (UHP 10), JM0030 (UHP 9) e PE0024 (UHP 3). De acordo com as avaliações individuais de cada parâmetro de qualidade da água, o Rio do Meio (estação MI0010) apresenta esta condição em função principalmente dos parâmetros de coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido e fósforo, enquanto a condição no Rio Jurumirim (Estação JM0030) está associada principalmente à turbidez e aos sólidos



dissolvidos totais. Já as condições do Rio Perequê-Açú (estação PE0024) estão associadas a coliformes termotolerantes e sólidos dissolvidos totais.

Em comparação com a medição do ano de 2017, que apresentava 3 cursos hídricos com IQA Ruim, e o restante com IQA Médio, a medição do ano de 2018 apresenta qualidade da água melhor (6 cursos hídricos apresentam IQA Bom e o restante apresenta IQA Médio). No entanto, é importante ressaltar que as medições do ano de 2017 foram realizadas em época do ano diferente da medição do ano de 2018, de forma que a comparação entre os dois resultados pode não ser tão conclusiva.

### **3.5. SÉRIES TEMPORAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA**

A seguir são apresentadas as tabelas com os valores utilizados para construir os gráficos apresentados nos itens anteriores (Figura 3.15 a Figura 3.25).

Dentro de cada tabela apresenta-se também, um Mini-Gráfico, que procura representar a evolução temporal de cada parâmetro individualizado. Neste Mini-Gráfico, a leitura da esquerda para a direita representa a evolução temporal de determinado parâmetro de qualidade. Antes desta apresentação, entretanto, resalta-se que os dados de qualidade da Estação Fazenda Fortaleza (de responsabilidade da ANA e operada pela CPRM) se diferem dos demais dados do Inea, sendo sua apresentação realizada de forma individualizada. Essa diferença reside no fato de que a série de dados da estação da ANA ser muito mais extensa que as séries das outras estações. Estas séries são apresentadas na Figura 3.14.



Período de Medição	Temperatura do Ar (°C)	Temperatura da água (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade Elétrica (µs/cm)	OD (mg/L)
ago-02		20.0	6.2		28.0	10.1
nov-02		26.0	6.1		33.0	10.9
fev-03		25.0	6.7		27.0	1.0
set-03	23.0	20.0	7.0		20.0	7.9
jul-04	25.0	19.0	7.6		24.9	7.4
set-04	29.0	25.0	6.5		89.0	6.9
dez-04	28.0	25.0	6.0		12.7	8.2
ago-05	26.0	19.0	7.1		12.7	9.3
ago-06	20.0	17.0	7.1		19.1	7.6
ago-09	21.0	18.5	7.2	2.1	26.0	10.3
nov-09	28.0	22.9	6.6	13.5	19.0	6.6
fev-10	29.0	24.1	6.8	3.8	22.0	10.9
jun-10	19.0	14.9	7.2	3.9	22.0	9.3
set-10	18.0	19.2	6.8	26.0	26.0	7.1
dez-10	29.0	23.4	6.8	40.4	18.0	6.8
mar-11	25.0	21.0	6.6	4.2	12.0	11.0
jul-11	17.0	16.0	7.2	7.3		11.4
out-11	31.0	24.5	7.8	8.8	22.0	13.0
dez-11	27.0	21.5	7.3	8.0	33.0	10.8
mar-12	30.0	23.2	8.1	12.1	18.2	8.7
abr-12	25.0	20.4	7.5	3.2	17.4	8.7
jul-12	24.0	17.9	8.1	2.4	16.0	11.5
out-12	22.0	20.2	7.2	3.1	18.5	9.1
mai-13	21.0	19.1	7.1	8.1	12.6	9.2
set-13	28.0	20.5	7.9	1.3	26.9	9.7
dez-13	25.0	21.5	6.8	21.3	17.8	9.1
fev-14	27.0	22.3	6.3	10.6	16.6	8.9
mai-14	23.0	17.3	7.4	0.7	18.9	9.8
set-14	27.0	20.9	7.6	1.2	26.9	9.4
mar-15	27.0	22.5	7.3	49.5	18.3	8.4
mai-15	24.0	18.9	7.4			9.8
set-15	30.0	23.6	7.8	0.1	26.4	8.9
mar-16	27.0	22.0	6.9	4.1	17.6	8.8
mai-16	23.0	18.0	7.3	0.0	21.8	9.7
ago-16	26.0	18.3	8.2	0.0	25.0	10.1
mar-17	28.0	22.7	7.7	6.2	20.2	
ago-17	20.0	17.5	7.2		23.7	
nov-17	25.0	21.0	6.6	15.3	16.5	8.2
mai-18	26.0	19.8	7.4	1.1	19.5	8.5

Fonte: ANA (2018)

Figura 3.14 – Série Temporal de Parâmetros de Qualidade da água para a Estação Fazenda Fortaleza



Período de Medição (Ano - Campanha)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)															
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	UHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010	UHP6 Faz.Fort
2014 -1	6.8	7.6	6.2	7.4	7.4	7.4	8.8	8.9	7.8	8.0	6.4	5.4	1.6	5.8	7.6	10.10
2014 -2	7.8	9.8	8.2	9.0	9.4	8.8	8.8	9.8	9.8	9.6	8.0	7.6	6.0	8.0		10.90
2014 -3	7.4	9.2	6.8	8.4	8.6	7.6	7.2	9.4	9.4	10.0	8.2	7.6	6.6	9.4	9.4	1.04
2014 -4	6.4	8.0	6.8	9.2	8.0	7.6	6.4	8.4	8.2	9.4	6.6	5.8	2.2	7.0	7.8	7.90
2015 -1	4.4	7.8	6.8	7.0	7.0	5.8	6.6	9.8	8.4	7.8	7.2	3.6	7.2	8.0	8.2	7.40
2015 -2	7.4	9.2	8.8	8.0	9.4	8.0	8.4	8.9	8.0	10.0	8.6	8.0	7.0	9.0	9.2	6.90
2015 -3	6.8	8.0	5.6	6.0	7.2	7.8	6.6	8.8	8.2	8.4	6.6	4.2	1.0	6.8	8.4	8.20
2016 -1	8.0	9.4		8.6	9.8	9.2	9.0	9.7	9.6	9.8	8.0	7.6	8.2	8.4	9.2	9.30
2016 -2	6.6	7.6		5.6	7.8	7.4	7.2	10.1	8.6	9.0	6.6	5.4	3.2	6.8	7.8	7.60
2017 -1	5.4			7.0	8.2	7.0	6.8		7.8	8.8	6.2	6.0	6.0	7.8	8.0	10.28
2018 -1	5.6	7.8	7.6	7.6	8.4	7.4	7.4	8.5	8.2	8.4	7.2	7.8	7.2	7.8	8.4	6.64

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.15 – Série Temporal de Oxigênio Dissolvido

Período de Medição (Ano - Campanha)	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	UHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	2.0	2.0	7.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0
2014 -2	2.0	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
2014 -3	2.0	2.0	3.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4	2.0	2.0
2014 -4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0
2015 -1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	9.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.0	2.0	2.0	2.0
2015 -2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2015 -3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0
2016 -1	2.0	2.0		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2016 -2	2.0	2.0		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0	2.0	2.0
2017 -1	2.0			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2018 -1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.16 – Série Temporal de Demanda Bioquímica de Oxigênio



Período de Medição (Ano - Campanha)	Fósforo (mg/L)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
2014 -2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	
2014 -3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
2014 -4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1
2015 -1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0
2015 -2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1
2015 -3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
2016 -1	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016 -2	0.1	0.0		0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1
2017-1	0.1			0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
2018-1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.17 – Série Temporal de Fósforo Total

Período de Medição (Ano - Campanha)	Nitrato (mg/L)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
2014 -2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
2014 -3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
2014 -4															
2015 -1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3
2015 -2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5
2015 -3	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.6
2016 -1															
2016 -2	0.2	0.1		0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5
2017-1	0.1			0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2
2018-1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.18 – Série Temporal de Nitrato



Período de Medição (Ano - Campanha)	Turbidez (NTU)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	UHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	8.2	2.4	11.0	2.5	1.4	3.4	1.7	4.8	1.6	2.2	2.8	6.0	4.7	1.5	2.1
2014 -2	4.6	1.5	3.0	3.0	1.8	5.0	1.0	4.1	1.7	1.7	2.0	4.0	4.8	2.5	
2014 -3	6.9	1.6	4.4	2.3	1.0	2.7	2.6	3.4	1.2	1.0	6.3	6.3	5.3	1.8	1.2
2014 -4	6.3	1.9	2.5	1.1	0.9	1.5	1.5	2.4	1.0	1.0	1.8	4.4	3.8	0.7	2.4
2015 -1	11.0	5.8	8.2	7.0	2.4	5.3	12.0	5.8	15.0	19.0	9.9	28.0	4.8	6.2	2.4
2015 -2	6.2	2.3	3.8	3.7	1.5	5.6	2.6	2.1	0.9	1.3	4.1	4.2	10.0	1.3	1.7
2015 -3	11.0	2.2	4.7	7.0	25.0	3.9	3.4	3.9	4.5	2.2	5.3	6.1	7.2	2.0	3.5
2016 -1	14.7	4.0		4.6	5.4	6.1	4.9	2.8	3.4	2.8	6.5	5.3	2.7	2.6	2.7
2016 -2	20.0	4.3		3.7	29.1	3.0	2.3	3.1	3.0	25.3	3.2	4.8	6.3	1.0	2.3
2017-1	20.7			12.0	2.3	12.8	4.3	2.9	5.6	1.6	4.2	5.8	6.2	0.7	4.2
2018-1	7.8	3.4	3.8	9.4	1.5	5.6	4.3	2.3	15.1	5.8	14.6	37.9	8.5	7.0	11.4

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.19 – Série Temporal de Turbidez

Período de Medição (Ano - Campanha)	pH														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	UHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	6.8	6.7	6.7	6.9	6.4	6.4	6.6	6.4	6.8	7.1	7.0	7.7	6.8	6.7	7.4
2014 -2	6.9	6.7	7.0	6.9	6.6	6.5	7.2	6.5	6.8	7.0	6.9	6.9	6.8	6.9	
2014 -3	7.1	7.0	6.8	6.9	7.0	6.8	7.2	6.5	6.6	7.1	7.1	7.4	7.2	7.5	6.8
2014 -4	6.6	6.7	6.3	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	6.5	7.3	7.3	7.2	7.3	7.7	7.2
2015 -1	6.5	6.6	6.1	6.5	6.4	6.2	6.3	6.3	6.2	6.5	6.6	6.4	6.5	6.7	6.5
2015 -2	6.7	6.6	6.5	6.6	6.4	6.4	6.8	6.4	6.4	9.4	6.8	6.9	6.9	7.0	7.1
2015 -3	7.0	7.2	6.8	6.9	6.8	6.8	6.7	6.7	7.1	6.9	6.9	6.9	7.0	7.4	7.3
2016 -1	7.5	8.4		7.1	8.3	8.4	7.4	7.6	8.3	7.9	7.6	6.7	8.2	8.3	7.4
2016 -2	7.4			7.1	6.9	7.4	6.8	7.1	7.2	7.7	7.0	7.3	7.1	7.2	7.3
2017-1	7.2			7.8	7.3	7.0	6.3	6.8	6.9	7.0	6.9	6.6	7.5	7.6	6.9
2018-1	6.4	6.5	6.0	6.4	6.1	6.1	6.8	6.8	6.9	7.4	7.0	7.2	7.2	7.5	7.0

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.20 – Série Temporal de pH



Período de Medição (Ano - Campanha)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	230	200	160000	2300	16000	3500	160000	16000	400	3500	17000	3300	1600000	4900	4900
2014 -2	170	1200	1100	780	130	450	1400	3300	490	230	2300	17000	100000	1700	
2014 -3	130	230	49000	790	78	1300	1300	3300	490	3300	1300	4900	240000	450	490
2014 -4	220	170	1700	1300	78	170	3500	220	68	780	2800	2300	350000	790	13000
2015 -1	2300	4900	24000	35000	24000	7900	160000	160000	160000	2200	330	9200	1600000	45	5400
2015 -2	230	790	16000	230	490	330	490	1300	20	1300	19000	1300	920000	45	24000
2015 -3	1100	170	1700	330	3300	170	1400	3300	1100	3300	2300	1100	33000	170	13000
2016 -1	1400	4900		1300	490	560	3300	1700	490	1300	410	790	3300	330	4900
2016 -2	1300	2300		3300	78	220	1700	790	4900	2300	3300	490	160000	45	6300
2017-1	13000			7900	13000	13000	160000	54000	7900	92000	160000	7900	160000	54000	160000
2018-1	180	1700	3300	1300	200	780	780	200	200	450	3300	4900	13000	7900	13000

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.21 – Série Temporal de Coliformes Fecais

Período de Medição (Ano - Campanha)	Temperatura do Ar														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	30	30	30	30	30	30	30	30	32	31	29	32	28	28	29
2014 -2	28	26	28	27	25	26	25	25	27	24	24	24	24	24	
2014 -3	30	30	30	30	28	28	28	27	27	20	21	20	20	20	20
2014 -4	29	30	28	28	28	28	28	28	25	26	26	25	25	23	24
2015 -1	27	28	28	28	27	26	25	24	25	25	26	25	24	25	24
2015 -2	20	20	23	23	24	22	22	25	21	21	23	21	23	23	21
2015 -3	24	24	23	24	23	23	23	23	23	25	24	24	24	24	24
2016 -1	22	21		23	19	21	19	19	19	17	17	17	17	17	17
2016 -2	21	21		21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	21	22
2017-1	23			23	24	24	24	23	23	21	23	23	23	23	27
2018-1	23	23	23	23	22	22	24	23	23	23	22	24	22	22	22

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.22 – Série Temporal de Temperatura do Ar



Período de Medição (Ano - Campanha)	Temperatura da Água														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	26	28	28	28	25	25	27	28	24	24	26	27	28	25	24
2014 -2	20	20	20	21	19	20	19	20	18	20	20	20	21	20	
2014 -3	21	21	22	22	21	21	21	21	20	19	20	19	19	19	19
2014 -4	25	24	24	25	23	20	24	25	23	23	25	25	26	23	23
2015 -1	20	20	20	20	19	20	19	20	18	23	23	23	23	22	23
2015 -2	13	14	14	14	14	14	14	15	14	17	17	17	17	16	16
2015 -3	22	22	23	23	21	21	22	22	21	22	22	22	22	22	21
2016 -1	18	18		19	17	18	17	18	16	18	18	18	18	17	18
2016 -2	21	21		21	20	18	21	21	19	21	21	21	22	20	21
2017 -1	22			21	21	21	22	22	21	22	22	23	22	21	22
2018 -1	23	22	21	23	21	21	22	22	21	22	24	24	24	22	23

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.23 – Série Temporal de Temperatura da água

Período de Medição (Ano - Campanha)	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	80	1	2819	1156	57	30	404	120	60	200	4104	8544	4434	1909	6862
2014 -2	116	40	4020	1203	75	21	3511	70	44	49	2185	3311	2638	1282	
2014 -3	219	41	7254	2559	337	44	8406	282	27	117	3750	13448	613	608	69
2014 -4	254	45	128	81	43	32	2594	55	25	52	3175	5827	2956	1328	73
2015 -1	128	41	1573	274	36	40	41	36	160	40	84	822	40	34	37
2015 -2	99	18	858	842	70	27	1950	30	39	78	933	2230	175	191	208
2015 -3	595	38	9865	5045	946	10	3561	1193	32	51	5097	15236	5093	1931	68
2016 -1	331	34		1097	47	82	634	266	57	65	700	4811	139	216	41
2016 -2	893	58		2983	2463	96	3812	398	153	89	7030	11455	3830	3114	55
2017 -1	433			148	49	27	2051	84	35	64	2586	9857	422	492	50
2018 -1	92	44	473	124	29	38	55	35	37	26	143	66	49	2998	53

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.24 – Série Temporal de Sólidos Dissolvidos Totais



Período de Medição (Ano -	IQA														
	UHP2 ME0020	UHP2 PM0090	UHP3 PE0024	UHP3 CR0070	UHP4 BG0040	UHP4 GU0100	UHP6 MB0080	JHP7 FR0010	UHP8 BC0060	UHP9 CA0010	UHP9 CT0050	UHP9 JM0030	UHP10 MI0010	UHP11 JC0010	UHP12 CG0010
2014 -1	74	77	43	64	57	63	49	44	72	64	54	58	34	57	60
2014 -2	74	68	64	66	76	71	64	64	71	77	63	54	47	64	
2014 -3	72	74	47	65	76	67	63	62	71	68	66	60	46	71	75
2014 -4															
2015 -1	54	60	47	50	52	50	47	49	47	64	72	43	51	80	63
2015 -2	70	69	51	65	68	68	65	64	77	64	53	64	47	78	56
2015 -3	64	78	61	68	58	77	64	61	71	67	62	57	33	72	60
2016 -1															
2016 -2	63	68		59	71	77	64	70	65	66	61	64	37	75	64
2017 -1	52			60	60	58	46	55	62	55	47	56	48	52	51
2018 -1	71	68	59	68	74	68	71	77	76	75	64	62	59	59	60

Fonte: Inea (2014, 2015, 2016, 2017, 2018)

Figura 3.25 – Série Temporal de IQA



## 4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

A demanda pelos recursos hídricos subterrâneos para fins de abastecimento público e privado teve um aumento significativo motivado pela carência e degradação dos recursos hídricos superficiais. Segundo IBGE (2002), 15,6% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do Brasil, representam o principal manancial hídrico.

As águas de poços e de fontes vem sendo utilizada para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Estima-se que foram perfurados no país, 416 mil poços de 1958 a 2008, sendo que 63 mil (15% do total) estão fora de funcionamento e que apenas 144.307 (35% do total) estão cadastrados no SIAGAS (Cardoso, *et al.*, 2008).

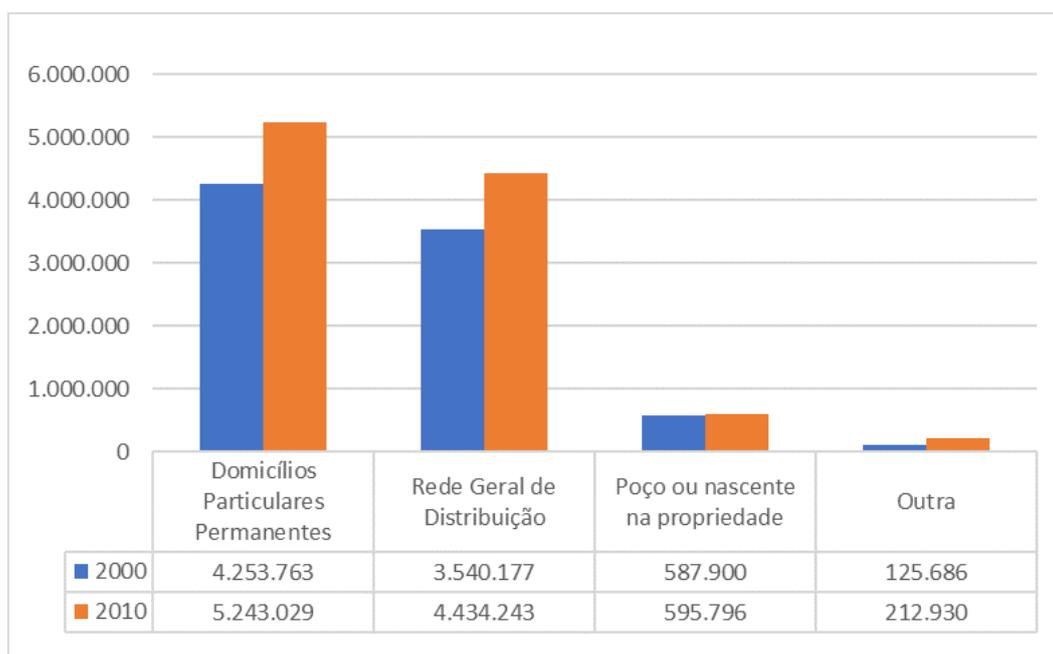
Os dados divulgados pelo IBGE (2008) apontaram que dos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro, 44 (47,8% do total) são totalmente ou parcialmente abastecidos por poços rasos e profundos, conforme apresentado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição e por tipo de captação no estado do Rio de Janeiro

Unidade da Federação	Municípios					
	Total	Com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição				
		Total	Tipo de captação			
		Superficial	Poço raso	Poço profundo	Outro	
Rio de Janeiro	92	75	9	35	5	
	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>81,5%</b>	<b>9,8%</b>	<b>38%</b>	<b>5,4%</b>

Fonte: Adaptado de IBGE (2008)

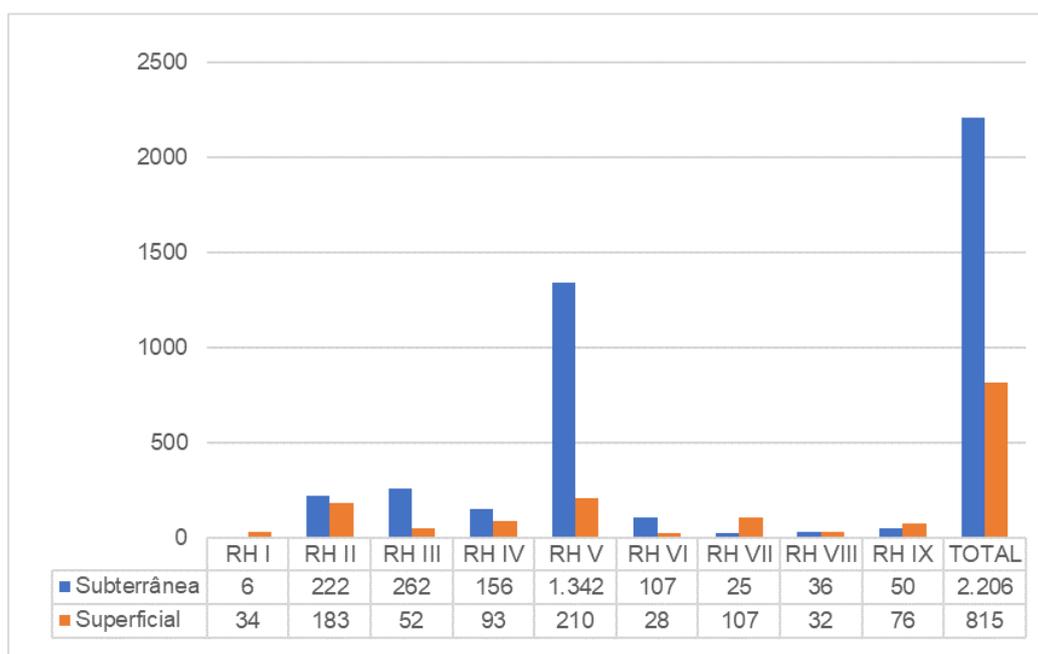
Dados obtidos no último censo (IBGE, 2010) apontaram que dos 5.243.029 milhões de domicílios particulares no estado do Rio de Janeiro, 595.796 mil (11,36% do total) que não são atendidas pela rede de abastecimento pública possuem poço ou nascente na propriedade, conforme apresentado na Figura 4.1.



Fonte: IBGE,(2010)

Figura 4.1 – Domicílios particulares permanentes e tipos de abastecimento de água no estado do Rio de Janeiro

No gráfico da Figura 4.2 está representado o total de pontos regularizados pelo Inea, órgão que concede outorga do direito de uso dos recursos hídricos no estado do Rio de Janeiro, no ano de 2015. Conforme analisado, 2.206 desses registros são direcionados para água subterrânea, enquanto para água superficial um total de 815 registros.



Fonte: Inea (2015)

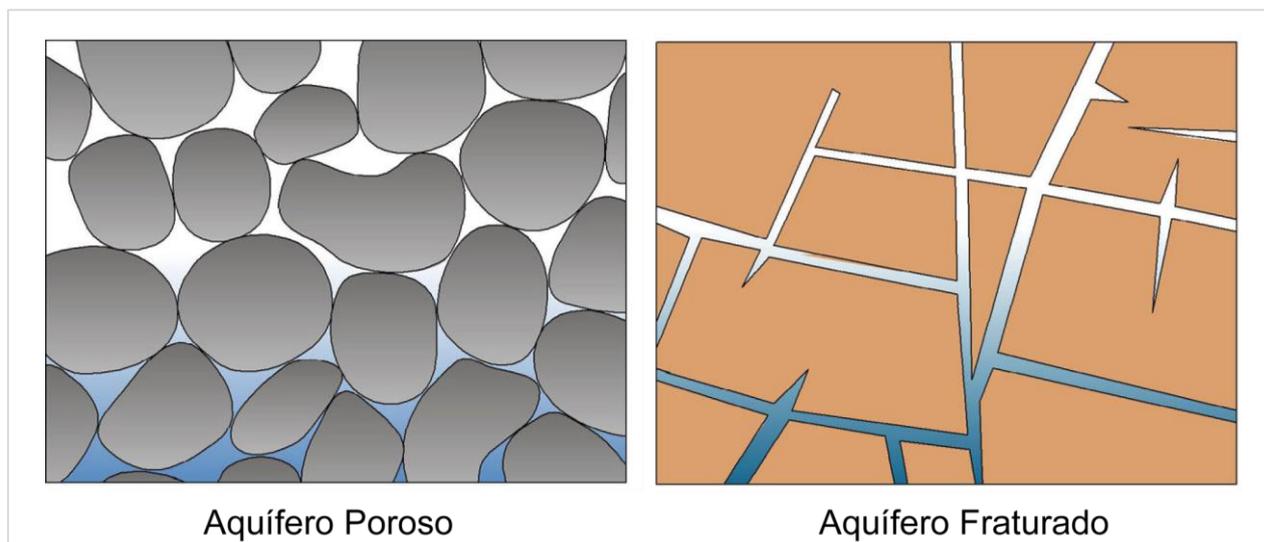
Figura 4.2 – Total de pontos regularizados pelo Inea no estado do Rio de Janeiro



#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS NA RH-I

Aquíferos são unidade geológicas capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos. Os aquíferos podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade, podendo ela ser primária, com o fluxo ocorrendo nos interstícios das rochas sedimentares ou sedimentos inconsolidados; e secundária, com fluxo condicionado à existência de fraturas.

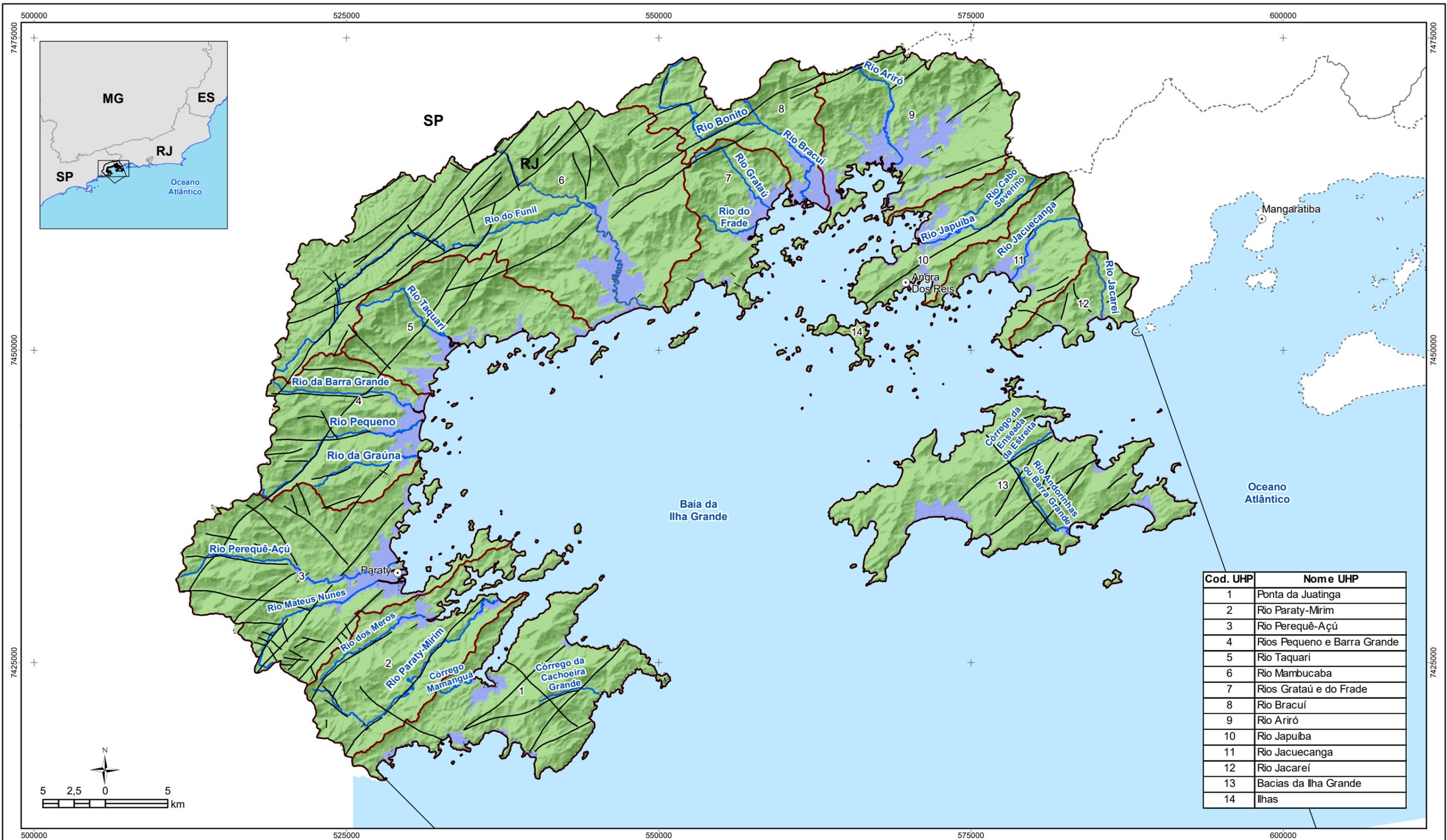
Na área da RH-I existem duas formas de ocorrência de água subterrânea: aquíferos porosos e aquíferos fraturados (Figura 4.3). Os aquíferos porosos ou sedimentares ocorrem no domínio de rochas sedimentares, sedimentos ou solos arenosos, onde a circulação de água se dá através dos poros formados entre os grãos. Os aquíferos fraturados, por sua vez, ocorrem no domínio de rochas cristalinas ígneas e metamórficas e sua produtividade está condicionada à ocorrência de estruturas tectônicas presentes. Devido as suas características litológicas, não apresentam porosidade e permeabilidade primárias, logo, a exploração de suas zonas aquíferas está relacionada a descontinuidade física da rocha (fraturas, zonas de fraturas) (Feitosa *et al.*, 2008).



Fonte: Topper, et al. (2003)

Figura 4.3 – Classificação dos aquíferos encontrados na RH-I de acordo com o tipo de porosidade da rocha

As rochas cristalinas apresentam a maior expressão em área na RH-I, ou seja, grande parte das ocorrências de água subterrânea estão relacionadas aos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Cristalino. Com ocorrência mais restrita, encontram-se os depósitos inconsolidados que constituem os aquíferos de origem sedimentar, conforme apresentado no Mapa 4.1.



Cod. UHP	Nome UHP
1	Ponta da Juatinga
2	Rio Paraty-Mirim
3	Rio Perequê-Açú
4	Rios Pequeno e Barra Grande
5	Rio Taquari
6	Rio Mambucaba
7	Rios Grataú e do Frade
8	Rio Bracuí
9	Rio Ariró
10	Rio Japuiba
11	Rio Jacuecanga
12	Rio Jacaré
13	Bacias da Ilha Grande
14	Ilhas

**LEGENDA**

- Sede municipal
- Rios principais
- Massa d'água
- Limite municipal
- Limite de atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas da BIG
- UHP
- Estrutura Geológica**
- Dique
- Falha
- Aquífero**
- Sistema Aquífero Cristalino
- Sistema Aquífero Sedimentar

Acompanhamento

Realização

RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO 07  
**PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO  
 HIDROGRÁFICA DA BAÍA DA ILHA GRANDE (PRH-BIG)**

Execução  
  
 Apoio

**Sistema de Coordenadas UTM**  
 Datum SIRGAS2000  
 Zona 23S  
 Escala: 1:300.000

**Mapa 4.1 - Hidrogeologia da RH-I**

**Fonte de dados:**  
 - Sede municipal: IBGE, 2018  
 - Limite municipal: IBGE, 2018  
 - Hidrografia: IBGE, 2018  
 - Abrangência da RH-I: INEA-DIGAT/GESET, 2015  
 - UHPs: PROFILL, 2017  
 - Hidrogeologia: adaptado de DRM-RJ (1995)  
 - Estrutura geológica: DRM-RJ (1995)



O Mapa Hidrogeológico da RH-I foi adaptado do Mapa Geológico do Rio de Janeiro, elaborado pelo Serviço Geológico do Rio de Janeiro (DRM-RJ-1995). As unidades aquíferas foram divididas em dois grandes grupos: Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), pormenorizados adiante.

#### 4.1.1. SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) envolve as rochas do Embasamento Cristalino ou Embasamento Pré-Cambriano, que engloba rochas como granitos, charnokitos e ortognaisses, cuja produtividade está condicionada à ocorrência de discontinuidades como falhas e juntas e, em certos casos, contatos litológicos. A captação da água desses aquíferos só pode ser feita através de poços tubulares. No entanto, na zona de alteração dessas rochas, em locais onde há espessura, porosidade e permeabilidade suficientes, também pode ocorrer a formação de um aquífero granular livre, sendo captado através de poços escavados.

Barreto *et al.* (2001) classificaram as áreas do estado do Rio de Janeiro em quatro níveis de favorabilidade para captação de água subterrânea no SAC. As zonas de favorabilidade “alta a muito alta” ocorrem em 46,25% do estado, as zonas classificadas como “mediana” em 38,22%, as zonas “baixa a muito baixa” em 14,7%, enquanto as zonas classificadas como “desfavorável” ocorrem em menos de 1% da área do estado. Segundo esse estudo, o resultado mostra que 84,47% da área de ocorrência das rochas cristalinas está classificada como de favorabilidade acima da mediana, ou seja, o SAC possui condições favoráveis para ocorrência de água subterrânea.

Na Figura 4.4 está apresentado o perfil construtivo e litológico de dois poços tubulares perfurados no município de Angra dos Reis, que está inserido na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (RH-I). Observa-se que nesses perfis o topo do embasamento cristalino está localizado em diferentes profundidades e que as camadas mais superficiais, representadas por sedimentos inconsolidados e solos provenientes da alteração da rocha, possuem espessuras entre 7 e 24 metros.





Quadro 4.2 – Distribuição dos dados para cada parâmetro analisado em poços na RH-I

Poço	Lat. Decimal	Long. Decimal	Prof. (m)	NE* (m)	ND* (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)
ANG - 7	-23,647	-44,347	50	5	42	0,7	0,02
ANG -	-23,313	-44,338	72	5,3	51,6	7	0,15
ANG -	-23,925	-44,280	108	-	-	1,1	-
ANG -	-23,883	-44,534	60	12	-	-	-
ANG -	-23,850	-44,287	59	7	38	12	0,39
ANG -	-23,787	-44,330	100	19	45	12	0,46
ANG -	-23,882	-44,301	74	15,3	42,4	1,6	0,06
ANG - 4	-23,398	-44,331	50,2	0,9	30	8,5	0,29
ANG - 6	-23,012	-44,486	16	12	45	1,3	-
<b>Mínima</b>			<b>16</b>	<b>0,9</b>	<b>30</b>	<b>0,7</b>	<b>0,02</b>
<b>Máxima</b>			<b>108</b>	<b>19</b>	<b>51,6</b>	<b>12</b>	<b>0,46</b>
<b>Média</b>			<b>65,47</b>	<b>9,5</b>	<b>42</b>	<b>5,53</b>	<b>0,228</b>

\*NE: Nível Estático; ND: Nível Dinâmico

Fonte: Adaptado de Barreto *et al.*, (2001) e SIAGAS (2018)

As profundidades dos poços tubulares que atingiram as rochas do embasamento cristalino e que captam água do SAC, variam entre 16 a 108 m, apresentando uma média de 65,47 m. Com relação ao nível estático, observa-se um valor médio de 9,5 m, sendo que a profundidade mais rasa se encontra aos 0,9 m, enquanto a mais profunda aos 19 m. Quanto ao nível dinâmico, que é a profundidade da água no último instante do bombeamento, verifica-se uma média de 42 m, sendo que a profundidade mínima foi de 30 m e a máxima de 51,6 m.

As vazões dos poços variam de 0,7 a 12 m<sup>3</sup>/h, apresentando uma média de 5,53 m<sup>3</sup>/h. Essa variação na produtividade mostra o alto grau de incerteza para a captação de água nos aquíferos fraturados, destacando a importância de critérios técnicos para a locação do poço para que este atinja vazões mais satisfatórias.

Quanto a vazão específica, considerada o parâmetro mais representativo da produtividade do poço, apresentou um valor médio de 0,228 m<sup>3</sup>/h/m. O menor valor registrado para este parâmetro foi de 0,02 m<sup>3</sup>/h/m e o maior valor foi de 0,46 m<sup>3</sup>/h/m.

#### 4.1.2. SISTEMAS AQUÍFEROS SEDIMENTARES

Os aquíferos sedimentares (granulares ou poroso) são aqueles onde a água subterrânea é armazenada e circula através dos espaços existentes entre grãos em sedimentos inconsolidados ou rochas sedimentares.

No estado do Rio de Janeiro estes sistemas se distribuem nas principais bacias sedimentares do estado (Campos, Resende, Volta Redonda, Macacu), e nas regiões onde se depositam os sedimentos aluvionares dos grandes rios, como o Guandu, Guapiaçu, Macaé,



Iguaçu e Macacu e nas planícies costeiras (Barreto *et al.*, 2001). Na área abrangente pela RH-I, esses sistemas ocorrem em ambientes de sedimentação quaternária, associados a sistemas deposicionais de origem continental e transicional/marinho (Silva, L. D., & Cunha, H., 2001).

A forma de captação mais comum é feita por meio de poços domésticos (poços do tipo cacimba, poços ponteira, poços caipira, entre outras modalidades) e, em geral, é feita em função da facilidade e do baixo custo de perfuração nos sedimentos não consolidados.

#### 4.1.2.1. *Alúvio-Lacustres*

É caracterizado por ser um típico aquífero de porosidade intergranular associados a sedimentos arenosos e argilosos com intercalações de matéria orgânica e intensa variação composicional. Esses aquíferos estão localizados próximos da superfície, sobrepostos tanto ao embasamento quanto aos sedimentos mais antigos. Comportam-se como livre e apresentam espessuras em torno de 20 m, porém em alguns locais podem atingir espessuras na ordem de 100 m. Nesses tipos de aquíferos, as captações geralmente são feitas por poços rasos, cacimbas ou poços escavados com ponteira, exceto nos locais de maior espessura, onde existem poços tubulares. Normalmente são pouco produtivos, podendo ser mais expressivos quando atingem maiores espessuras com vazões superiores a 10 m<sup>3</sup>/h. Em geral, as águas são de boa qualidade e constituem um importante reservatório de água subterrânea local, porém podem ser levemente ferruginosas (Barreto *et al.*, 2001).

Na RH-I não consta no banco de dados nenhum poço que capta exclusivamente água desses aquíferos, porém, na região do litoral norte do Rio de Janeiro, também há ocorrência dessa unidade aquífera. De acordo com Briones, T. G. (2011), suas águas são de caráter ácido, apresentam valor médio de pH igual a 5,15. Tal fato pode ser explicado pela presença de águas que possuem pouco tempo de circulação no aquífero e refletem a íntima relação com a água de recarga da chuva, porém também pode estar relacionado à sedimentação lacustre e ao ambiente redutor associado a este tipo de depósito.

#### 4.1.2.2. *Cordões, Restingas e Terraços Litorâneos*

Localizam-se na região costeira e são compostos por sedimentos arenosos, razoavelmente selecionados, com matriz siltica a argilosa, granulometria fina a grossa. Os aquíferos são rasos, apresentam condições livres e normalmente salinizados, com aproveitamento restrito. Suas captações são feitas por poços rasos, aproveitando os primeiros níveis de água, que podem ser potáveis e são utilizadas, normalmente, para o abastecimento doméstico (Barreto *et al.*, 2001).



Um dos riscos específicos nos aquíferos costeiros é a intrusão marinha por avanço da cunha salina. O uso excessivo da água subterrânea pode trazer diversos problemas que contribuem para a não sustentabilidade. No âmbito do estado do Rio de Janeiro, a Lei Estadual nº 3239/99 a qual implementa a política estadual de recursos hídricos, define que, no caso dos aquíferos costeiros, a vazão sustentável deverá ser aquela capaz de evitar a salinização pela intrusão marinha.

#### 4.1.2.3. Argilas Orgânicas Costeiras

Localizam-se na região costeira e são constituídas basicamente por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica, típicos de ambientes de manguezais. As águas são fortemente salinizadas com altos teores de ferro e de cloretos, tornando-as impróprias para consumo e outras atividades.

## 4.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA NA RH-I

Para uma gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos, é necessário o conhecimento da disponibilidade hídrica subterrânea. A exploração de volumes superiores ao volume renovável acarreta no esgotamento do aquífero, ocasionando problemas presentes e futuros de abastecimento de água.

O conceito de vazão sustentável está relacionado à recarga das águas subterrâneas, que é uma parcela do ciclo hidrológico na natureza. A estimativa dessa parcela pode auxiliar os gestores na tomada de decisões referentes ao uso dos recursos hídricos subterrâneos. A Lei 3.239 de 02 agosto de 1999 (Política Estadual de Recursos Hídricos) do Rio de Janeiro determina que a exploração de aquíferos deverá observar a vazão sustentável e que as zonas de recarga deverão ser protegidas.

**Art. 32º** São objetivos do Sistema Estadual de Informações Sobre Recursos Hídricos (SEIRHI):

(...)

**VIII** - a proteção das áreas de recarga dos aquíferos, contra a poluição e superexploração;

(...)

**Art. 36º** A exploração de aquíferos deverá observar o princípio da vazão sustentável, assegurando, sempre, que o total extraído pelos poços e demais captações nunca exceda a recarga, de modo a evitar o deplecionamento. (...)

(RIO DE JANEIRO, 1999)



A definição da disponibilidade hídrica subterrânea ou reserva explorável consiste no volume de água que pode ser extraído de um aquífero de modo a não causar impactos ambientais e econômicos significantes. A sua determinação envolve uma série de fatores, tais como: a capacidade de armazenamento e transmissividade do aquífero, a variação de armazenamento, a vazão sustentável, dentre outros. Como a definição desses parâmetros não foi realizada de forma pormenorizada, para o cálculo das reservas exploráveis, adotar-se-á um percentual de 25% das reservas renováveis, por se tratar de um valor habitualmente utilizado por diferentes autores e gestores (ANA, 2005). A reserva renovável pode ser estimada a partir da determinação das taxas de recarga aquíferos.

#### 4.2.1. ESTIMATIVA DE RECARGA DOS AQUÍFEROS

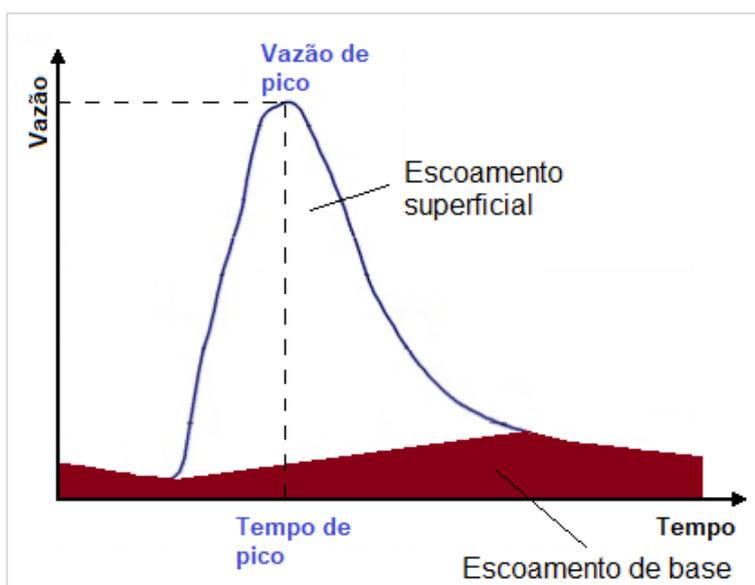
A recarga consiste na parcela da precipitação que infiltra no solo e atinge a zona saturada, alimentando o fluxo de base ou escoamento subterrâneo da bacia hidrográfica, e a sua quantificação é de difícil determinação. As metodologias aplicáveis geralmente envolvem a estimativa indireta da recarga através de outras variáveis, como a precipitação, descarga subterrânea em rios e variação de nível d'água em poços de monitoramento.

Diversos métodos são comumente utilizados para estimativa das taxas de recarga, como o balanço hídrico, variação do nível d'água e separação do escoamento de base, por exemplo. Os métodos, em geral, possuem elevado grau de incerteza e confiabilidade variável (SCALON et al, 2002). O método da separação do escoamento de base é amplamente utilizado e fornece resultado bastante satisfatórios, quando comparados a métodos de maior precisão, como a variação do nível d'água.

A estimativa de recarga aquífera é apresentada, neste relatório, com base em resultados obtidos através da separação do escoamento de base, mediante aplicação do filtro digital de Eckhardt (2005).

##### 4.2.1.1. *Separação do escoamento de base*

O escoamento de base é o componente do fluxo em um rio que está relacionado à descarga subterrânea e mantém a vazão dos rios perenes nos períodos secos. A separação do escoamento de base consiste em separar um hidrograma em dois componentes: escoamento superficial e subterrâneo, como apresentado na Figura 4.5. Através do escoamento de base é possível estimar a recarga aquífera.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.5 – Escoamento superficial e de base

O Filtro Digital de Eckhardt (2005) é um método numérico para separação de hidrograma de uma série histórica de vazões observadas em um rio. Este método consiste em um filtro recursivo, baseado em dois parâmetros: “a”, que pode ser determinado através da análise de recessões em um hidrograma; e “ $BFI_{max}$ ”, que é uma relação entre o escoamento total e subterrâneo, e depende da geologia da área. Collischonn e Fan (2013) propuseram que o  $BFI_{max}$  pode ser obtido através da relação entre as vazões de referência  $Q_{90}/Q_{50}$ .

Os valores de recarga dos aquíferos da RH-I foram estimados com base no método de Eckhardt (2005) com as considerações de Collischonn e Fan (2013) para cálculo do parâmetro  $BFI_{max}$ . Foram utilizadas séries históricas de duas estações fluviométricas instaladas nos rios Mambucaba e Perequê-Açu para os anos de 1990 a 2009, apresentadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Estações fluviométricas utilizadas

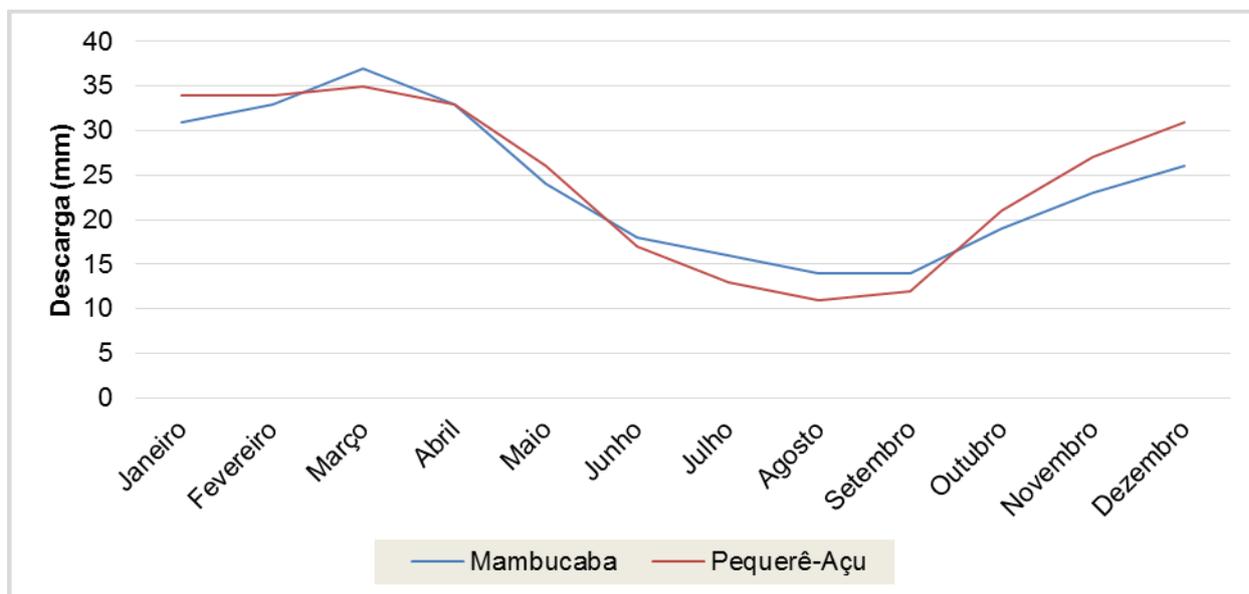
Posto	Rio	Série histórica	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Latitude	Longitude
59370000	Mambucaba	1990-2009	635	S 22° 57' 36.00"	W 44° 33' 38.88"
59380000	Perequê-Açu	1990-2009	79	S 23° 13' 28.92"	W 44° 45' 41.04"

Fonte: ANA (2018)

Os resultados de descarga foram obtidos mês a mês, conforme apresentado no gráfico da Figura 4.6. Entretanto, como a descarga é uma resposta lenta aos eventos de precipitação, pode ser considerada como a recarga do aquífero se considerarmos intervalos de tempo superiores a um ano. Desta forma, os valores de recarga anual obtidos para as bacias dos rios Mambucaba e Perequê-Açu foram de 288 mm e 294 mm, respectivamente. Estes valores correspondem, respectivamente, a 14,5% e 14,8% da precipitação média anual.



As taxas anuais de recarga podem ser representadas como o fluxo de base específico, que corresponde à vazão subterrânea por unidade de área da bacia e em valores totais, que é o volume anual de recarga. Estes valores são apresentados no Quadro 4.4.



Fonte: ANA (2018)

Figura 4.6 – Descarga subterrânea mensal nos rios Mambucaba e Perequê-Açu

Quadro 4.4 – Taxas de recarga dos aquíferos na RH-I

Rio	Recarga (mm/ano)	Recarga (% da precipitação)	Fluxo de base específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Reserva renovável (m <sup>3</sup> /ano)	Área da bacia (km <sup>2</sup> )
Mambucaba	288	14,5	0,0093	2,17 x 10 <sup>8</sup>	738,4
Perequê-Açu	294	14,8	0,0088	3,06 x 10 <sup>7</sup>	110

Fonte: ANA (2018)

Os resultados de recarga obtidos estão em conformidade com as características físicas da área, tendo em vista a ocorrência de aquíferos fraturados de reduzida transmissividade, relevos declivosos e solos rasos, condições desfavoráveis para a infiltração das chuvas e consequente recarga das águas subterrâneas.

É possível comparar os resultados obtidos com os de outros autores. No Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro são apresentados valores de recarga calculados por diferentes autores com base na vazão de referência  $Q_{7,10}$  e através de fórmulas empíricas determinadas exclusivamente em função do percentual de pluviometria anual. As fórmulas empíricas apresentam elevada incerteza devido a simplicidade de aplicação e generalização, pois não considera as peculiaridades fisiográficas e hidrogeológicas da área. Estes resultados são apresentados no Quadro 4.5 e Quadro 4.6.



Quadro 4.5 – Estimativa de recarga através de fórmulas empíricas

Estação	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração (mm/ano)	Recarga P - ETR (mm/ano)	Recarga do aquífero 35% P (mm/ano)	Reserva renovável $P \times 0,0015 \times A$	23% P (mm/ano)
Angra dos Reis	1.883,70	1.173,80	709,90	659,20	$3,7 \cdot 10^6$	433,25

Fonte: Adaptado de CERHI, Inea (2014)

Quadro 4.6 – Estimativa de recarga através da  $Q_{7,10}$

Rios da RH-I	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	Fluxo de Base Específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Estimativa da Recarga (m <sup>3</sup> /ano)
Perequê-Açu	110,00	1,10	0,0100	$3,4 \times 10^7$
Mateus Nunes	53,30	0,54	0,0100	$1,4 \times 10^7$
Parati-Mirim	66,30	0,67	0,0120	$2,1 \times 10^7$
Jacuecanga	39,60	0,48	0,0120	$1,5 \times 10^7$
Japuíba	36,70	0,44	0,0120	$1,4 \times 10^7$
Mambucaba	738,40	4,30	0,0058	$1,6 \times 10^8$
Bracuí	196,60	1,10	0,0059	$3,4 \times 10^7$
Ariró	62,90	0,43	0,0068	$1,35 \times 10^7$

Fonte: Adaptado de CERHI, Inea (2014)

A partir da mesma metodologia foram calculados, utilizando-se das vazões apresentadas no Quadro 2.11 e das áreas das UHPs, o Fluxo de Base Específico e a Estimativa da Recarga. Esses resultados são apresentados, para as UHPs de 1 a 12, no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Fluxo de base Específico e Estimativa de Recarga por UHP

UHP	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{7,10}$ absoluta (m <sup>3</sup> /s)	Fluxo de Base Específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Estimativa da Recarga (m <sup>3</sup> /ano)
1 Ponta da Juatinga	144,85	0,1160	0,0153	$6,972 \times 10^{07}$
2 Rio Paraty-Mirim	120,66	1,1200	0,0169	$6,428 \times 10^{07}$
3 Rio Perequê-Açu	200,32	1,3250	0,0081	$5,113 \times 10^{07}$
4 Rios Pequeno e Barra Grande	121,86	0,5163	0,0068	$2,614 \times 10^{07}$
5 Rio Taquari	114,66	0,6596	0,0095	$3,432 \times 10^{07}$
6 Rio Mambucaba	359,00	9,5660	0,0129	$1,459 \times 10^{08}$
7 Rios Grataú e do Frade	76,26	0,2981	0,0076	$1,839 \times 10^{07}$
8 Rio Bracuí	91,03	2,7080	0,0140	$4,024 \times 10^{07}$
9 Rio Ariró	152,25	1,6876	0,0106	$5,099 \times 10^{07}$
10 Rio do Meio	70,79	0,5100	0,0134	$2,996 \times 10^{07}$
11 Rio Jacuecanga	65,94	0,5220	0,0131	$2,727 \times 10^{07}$
12 Rio Jacareí	35,72	0,1430	0,0107	$1,202 \times 10^{07}$
TOTAL				$5,703 \times 10^{08}$

Fonte: Elaboração própria

Sendo a totalidade do valor de reserva renovável, na porção continental, da ordem de  $5,703 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/ano, é possível estimar a disponibilidade hídrica subterrânea como 25% desse valor, resultando em  $1,426 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/ano.

#### 4.2.2. DISPONIBILIDADE EFETIVA E INSTALADA NA RH-I

Segundo Costa (1998), a disponibilidade pode ser definida como a descarga já sendo retirada. Esta disponibilidade pode ser classificada em dois tipos: efetiva e instalada. A Disponibilidade Efetiva é a descarga anual sendo efetivamente bombeada em um momento



considerado. É considerada como a descarga real. A disponibilidade efetiva não deve exceder a potencialidade do aquífero, caso contrário, ocorrerá superexploração. Já a Disponibilidade Instalada é a máxima vazão possível de ser obtida a partir dos pontos de captação (poços) existentes no aquífero, considerando o bombeamento em regime contínuo.

No Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI; INEA, 2014) são apresentadas informações de vazão média, vazão específica e tempo de bombeamento em poços outorgados pelo INEA na RH-I. Estes valores são apresentados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Disponibilidade efetiva e instalada na RH-I

Nº de Poços	Vazão média (m³/h)	Vazão total (m³/h)	Tempo médio bombeado (horas/dia)	Disponibilidade Efetiva (m³/ média de horas bombeadas durante um dia)	Disponibilidade efetiva (m³/ano)	Disponibilidade Instalada (m³/ano)
34	5	170	10	1.700	620.500	1.489.200

Fonte: Adaptado de CERHI, Inea (2014)

Comparando-se os valores de disponibilidade efetiva e disponibilidade instaladas fornecidos pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A disponibilidade efetiva atual ( $6,2 \times 10^5$  m³/ano) corresponde a aproximadamente 0,43% da reserva renovável ( $1,426 \times 10^8$  m³/ano), quando considerados os poços devidamente cadastrados e regularizados.
- Mesmo que o bombeamento fosse realizado 24 horas por dia (disponibilidade instalada), o percentual com relação a reserva renovável seria de 1,3%.
- Os aquíferos na RH-I não apresentam risco de superexploração, quando considerado um cenário de inexistência de poços não cadastrados ou clandestinos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBIENTESP. Sistema Ambiental Paulista. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Mapa de Cobertura da Terra do Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <<https://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-cobertura-da-terra-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília - DF. 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb: Sistemas de informações hidrológicas. 2018. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acessado em 09 out. 2018.
- BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. S. Diagnóstico Geoambiental Do Estado Do Rio De Janeiro: Hidrogeologia Do Estado Do Rio De Janeiro, Brasília, DF: CPRM/DRM, 2000. + mapas
- BARRETO, A.; MONSORES, A.; LEAL, A. D. S.; & PIMENTEL, J. Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro - Texto explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2001.
- BRIONES, T. G. Estudo Hidrogeológico da porção emersa da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, RJ. 2011.
- CAPUCCI, E., MARTINS, A. M., MANSUR, K. L., & MONSORES, A. L. M. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001.
- CARDOSO, F. B.F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F.S.; NETO, P.V.; FLORES, P.M. Poços Tubulares construídos no Brasil. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Natal, Rio Grande do Norte. 2008.
- CERHI-RJ. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO; INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ). Documento elaborado pela Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos - COPPETEC. Laboratório de Hidrologia e Estudos Ambientais (LabHid). Rio de Janeiro: LabHid, 2014.
- COLLISCHONN, W. & DORNELLES, F. "Hidrologia Para Engenharia e Ciências Ambientais". Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre, 2013.
- COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica em grandes bacias. Porto Alegre, 2001. 194p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



- COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Baseflow Filter. *Hydrological Process*, n. 27, p. 2614 - 2622, 2013.
- COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa de cobertura da terra do Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-cobertura-da-terra-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em ago/2018.
- COSTA, W.D. Avaliação de Reservas, Potencialidade e Disponibilidade de Aquíferos. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, SP.1998.
- CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS. 2018. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> Acesso em: setembro de 2018.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Process*, n. 19, p. 507-515, 2005.
- FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E. C., & DEMÉTRIO, J. G. A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª. Ed. CPRM, Rio de Janeiro, 812pp, 2008.
- FRANCISCO, C. N. Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal - O caso de Angra dos Reis, RJ. Tese de Doutorado em Geociências, UFF, 2004.
- GOTTSCHALK, L; MOTOVILOV, Y. Macro-scale hydrological modelling - a Scandinavian experience. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON: "CAN SCIENCE AND SOCIETY SAVE THE WATER CRISIS IN THE 21 CENTURY - REPORTS FROM THE WORLD". Japan Society of Hydrology and Water Resources. Tokyo, 2000
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estado do Rio de Janeiro - 1:25.000: Base Cartográfica Contínua da Unidade da Federação do Rio de Janeiro na escala de 1:25 000. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficascontinuas/15807-estados.html?edicao=16037>>. Acesso em: 05 dez. 2017
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2000. CDROM. RIO DE JANEIRO. 2002.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=resultados> Acesso em: setembro de 2018.



- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P15&uf=00> Acesso em: setembro de 2018.
- INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Diagnóstico do setor costeiro da Baía da Ilha Grande. Subsídios à elaboração do zoneamento ecológico-econômico costeiro. Rio de Janeiro: SEA/INEA, 2015.
- INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Procedimentos Operacionais de Outorga no ERJ. 2017. Disponível em: <http://www.comiteguandu.org.br/downloads/ARTIGOS%20E%20OUTROS/Apresentacao-SEORH-Guandu-06-2017.pdf>. Acesso em: outubro de 2018.
- INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasília, DF. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.
- JARDIM, Pedro Frediani et al. MANUAL DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODELO MGB-IPH 2017 UTILIZANDO O IPH-Hydro Tools. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 2017. 90 p. Disponível em: [https://www.ufrgs.br/hge/wp-content/uploads/2017/01/manual\\_MGB.20.02.pdf](https://www.ufrgs.br/hge/wp-content/uploads/2017/01/manual_MGB.20.02.pdf). Acesso em: 19 mar. 2019.
- JAXA. JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. ALOS PALSAR L1.0. Fairbanks, Alaska: Americas ALOS Data Node. 2007. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 05 set. 2018.
- RAMOS, D. P.; REGO FILHO, L. de M.; PIMENTA, F. Estudos de favorabilidade das terras do Estado do Rio de Janeiro a múltiplos usos na escala de 1:100.000. Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.
- RIO DE JANEIRO. Lei nº 3.239 de 02 de agosto de 1999. Rio de Janeiro, 1999.
- ROSSI, M. 2017. MAPA PEDOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: REVISADO E AMPLIADO. Disponível em: <http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>. Acesso em ago/2018.
- SCALON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge. Hydrogeology Journal, n 10, p 18 - 39, 2002.
- SILVA, L. D., & CUNHA, H. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Brasília, Brasil. 2001.



- 
- SILVA, T. A. D. Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro: Levantamento e Organização dos Dados, Análises Hidrodinâmicas e Hidrogeoquímicas. Rio de Janeiro. 2012.
- SIQUEIRA, V. A. et al. Supplement of Toward continental hydrologic – hydrodynamic modeling in South America. Hydrol. Earth Syst. Sci, [s. l.], p. 4815–4842, 2018.
- SIQUEIRA, V. A., FLEISCHMANN, A., JARDIM, P. F., FAN, F. M., AND COLLISCHONN, W.: IPH-Hydro Tools: A GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment, RBRH, 21, 274–287, <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p274-287>, 2016.
- TOPPER, R., K. L. SPRAY, W. H. BELLIS, J. L. HAMILTON, AND P. E. BARKMANN. SP-53 Ground Water Atlas of Colorado. Special Publications, SP-53. Denver, CO: Colorado Geological Survey, Division of Minerals and Geology, Department of Natural Resources, 2003.
- TUCCI, C.E.M. 2002. Regionalização de vazões. Editora da Universidade. UFRGS. 1ª edição. Porto Alegre.



## ANEXO I – ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DA ESTAÇÃO PARATI

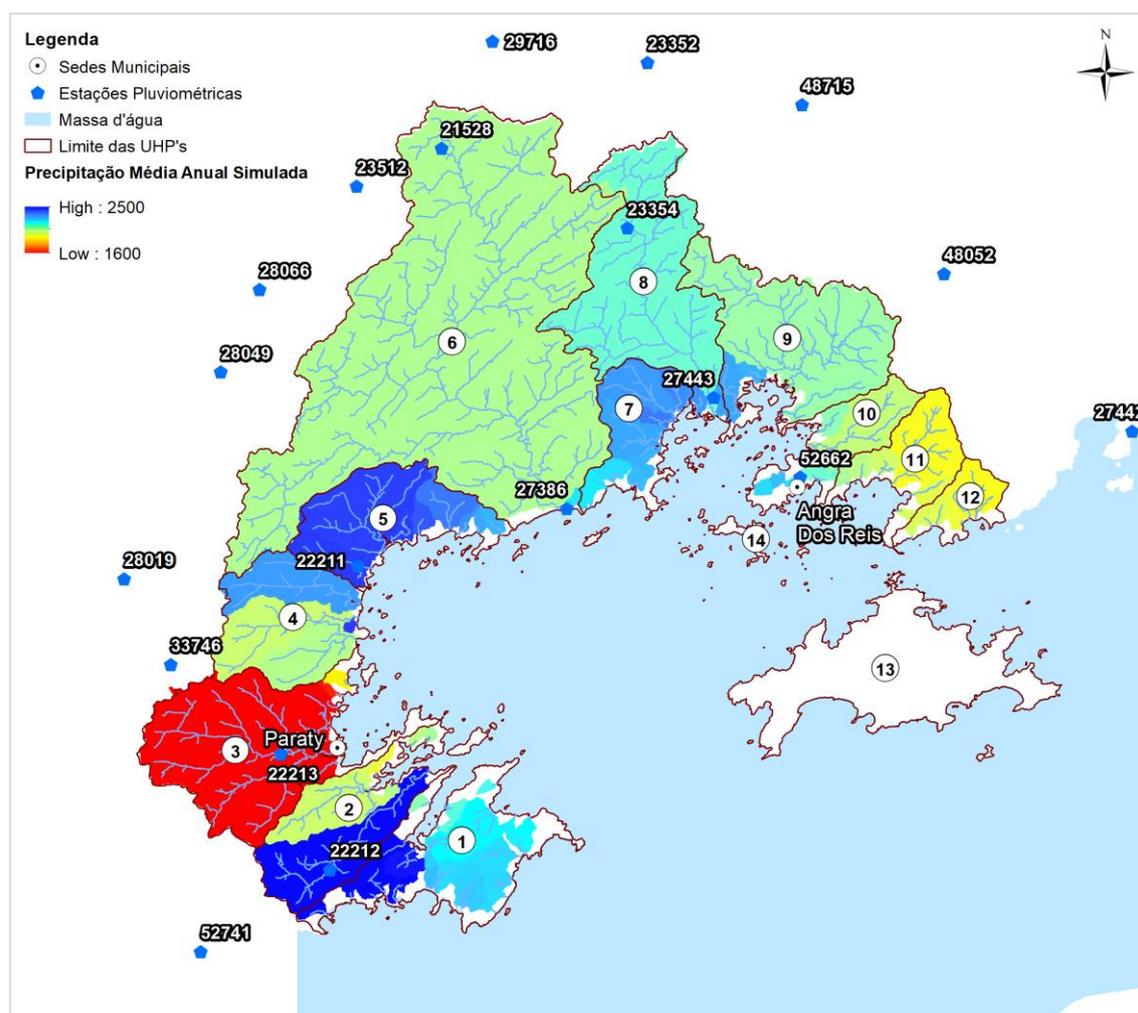


## 1. ANTECEDENTES

Na avaliação dos insumos utilizados para a modelagem da disponibilidade hídrica foi questionado o resultado obtido para a pluviosidade da UHP-3, onde encontra-se o centro de Paraty e a captação mais relevante da RH-I.

Entendo a importância do esclarecimento quando as dúvidas que surgem a partir dos resultados foram realizadas pesquisas visando a arguir sobre a manutenção dos dados utilizados e, por consequência, dos resultados obtidos, ou, concluindo que há necessidade por alguma incongruência, retirar dos insumos do modelo a estação de código 2344007, por esta apresentar indícios de problemas.

Os dados que suscitaram dúvidas sobre o quão realístico é o resultado apresentado na primeira versão do RD07 - Relatório de Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas, são apresentados na Figura 2.10.

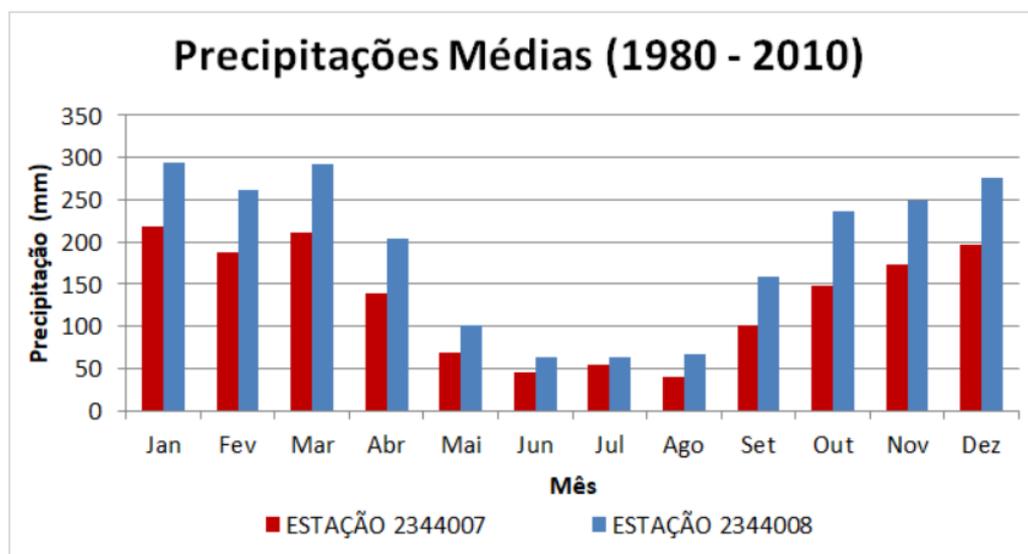


Fonte: Elaboração própria

Figura 1.1 – Chuvas Médias Anuais simuladas para diferentes áreas da Baía da Ilha Grande



Como pode ser observado, o resultado para Chuvas Médias Anuais para a região do centro de Paraty é da ordem de 1600 mm/ano, número abaixo das demais regiões da RH-I. As séries de chuvas diárias, obtidas através do Hidroweb (ANA, 2018), utilizadas para a geração do resultado apresentado na Figura 2.10, apresentam para a Estação Parati (2344007), volumes baixos, mesmo comparados com estações próximas, como a São Roque (2344008), como pode ser observado na Figura 2.9.



Fonte: Adaptado de ANA (2018)

Figura 1.2 – Diferença entre precipitações médias mensais nas Estações 2344007 e 2344008

Dado o exposto, buscou-se novos subsídios que esclarecessem os resultados encontrados a partir de uma série de dados de 30 anos, que se utilizou de informações fornecidas pela Agência Nacional de Águas.

## 2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com foco na avaliação dos resultados obtidos para a Estação Parati (2344007), foram realizados três processos: (i) nova aquisição dos dados através do portal Hidroweb (ANA, 2018) para a avaliação dos dados originais; (ii) avaliação de consistência da Estação Parati através do método proposto por Tucci (1997); e (iii) comparação com o Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2011).

### 2.1. NOVA AQUISIÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS DE SÉRIES DIÁRIAS

Com o objetivo de eliminar qualquer contaminação da análise com erros grosseiros cometidos na aquisição dos resultados analisados neste documento e apresentado no capítulo anterior, como antecedentes, todos os dados analisados foram obtidos novamente da fonte original, o Portal Hidroweb da Agência nacional de Águas.



Para a análise foi realizado o download das séries históricas de 19 estações de monitoramento, apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Lista de estações pluviométricas consideradas

Código da Estação	Nome da Estação	Período de disponibilidade de dados	Período de disponibilidade de dados consistidos
02244006	SÃO JOSÉ DO BARREIRO	1943 a 2002	-
02244009	ARAPEI	1969 a 1996	-
02244014	CAPETINGA	1969 a 1996	-
02244015	CAMPOS DE CUNHA	1960 a 1991	-
02244022	BANANAL	1961 a 1970	-
02244025	FAZENDA SANTA ISABEL	1973 a 1987	-
02244099	UHE NILO PEÇANHA LÍDICE	1954 a 2012	1998 a 2012
02244135	FAZENDA DAS GARRAFAS	1981 a 2018	1981 a 2005
02244136	BOCAINA	1982 a 2008	-
02244148	IBICUÍ	1989 a 2018	1989 a 2005
02244149	BRACUI	1990 a 2018	1990 a 2005
02344001	FAZENDA DO CUME	1939 a 2006	-
02344005	PICINGUABA	1944 a 2000	-
02344006	PATRIMÔNIO	1967 a 2018	1967 a 2005
02344007	PARATI	1962 a 2018	1962 a 2005
02344008	SÃO ROQUE	1967 a 2018	1967 a 2005
02344009	ALTO S. DO MAR - B. MATO LIMPO	1967 a 2018	1982 a 2005
02344013	ANGRA DOS REIS	1961 a 1998	-
02344016	VILA MAMBUCABA	1982 a 2018	1982 a 2005

Fonte: Adaptado de ANA (2019)

O banco de dados elaborado a partir da nova aquisição de dados foi comparado com os resultados já obtidos e apresentado na primeira versão do RD07. Nessa comparação não foram encontradas divergências, o que possibilita a conclusão que não há diverge/~encia ou alteração nos dados obtidos do Portal Hidroweb.

## 2.2. AVALIAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DA ESTAÇÃO PARATI

A partir do banco de dados montado com séries diárias, como descrito no item anterior, foi possível o cálculo dos acumulados médios para as estações do entorno regional da Estação Parati. Com esses acumulados foi possível a análise da consistência das séries dessa Estação.

A avaliação de consistência de séries pluviométricas, na metodologia proposta Tucci (1997), do Método da Dupla Massa, desenvolvido pelo *Geology Survey* (EUA), no qual se comparam as series históricas de estação com as médias acumuladas de estação da mesma região buscando-se encontrara inconsistências ou mudanças de tendência. Tucci (1997) sugere quatro resultados típicos da avaliação, dos quais foram encontrados dois.

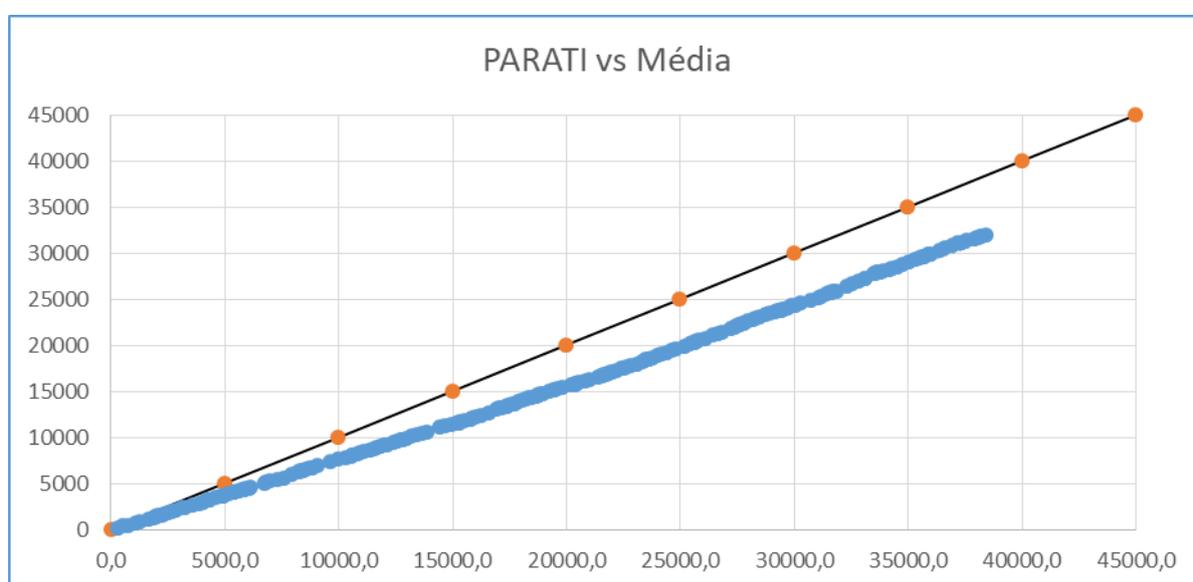
As estações Parati (Figura 2.1), São Roque (Figura 2.2) e Patrimônio (Figura 2.3), se enquadram no caso típico que indica a não existência de inconsistência na série analisada, já



que não há inflexões relevantes, quebras no alinhamento da plotagem dos dados ou mesmo dispersão dos pontos. A Estação de Parati é, das quatro analisadas, a única que mantém seus valores abaixo da média, o que não indica a ocorrência de qualquer tipo de erro, mas sim que possui um regime pluviométrico menor que as demais, mas coerente com a região.

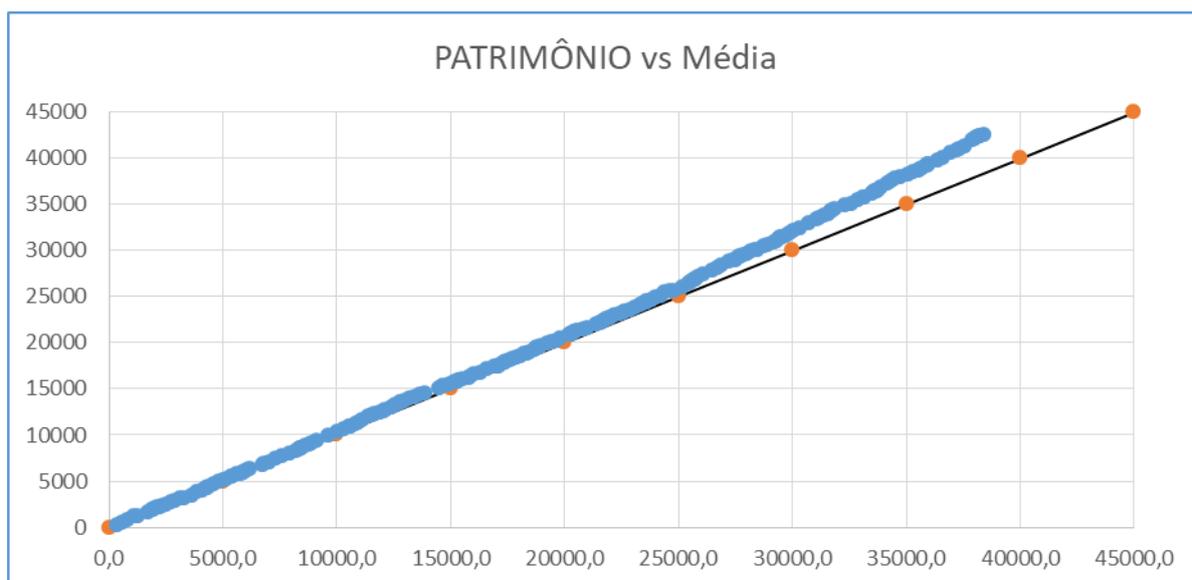
A Estação Alto da Serra do Mar (Figura 2.4) apresenta uma inflexão, o que indica uma mudança de tendência. Tucci (1997) apresenta duas suposições para a causa desse comportamento, ou trata-se de comportamento decorrente de erros sistemáticos, ou trata-se de comportamento causado por uma mudança física que de fato tenha alterado regime de precipitação.

Figura 2.1 – Comportamento da Estação Parati na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, São Roque e Alto da Serra do Mar



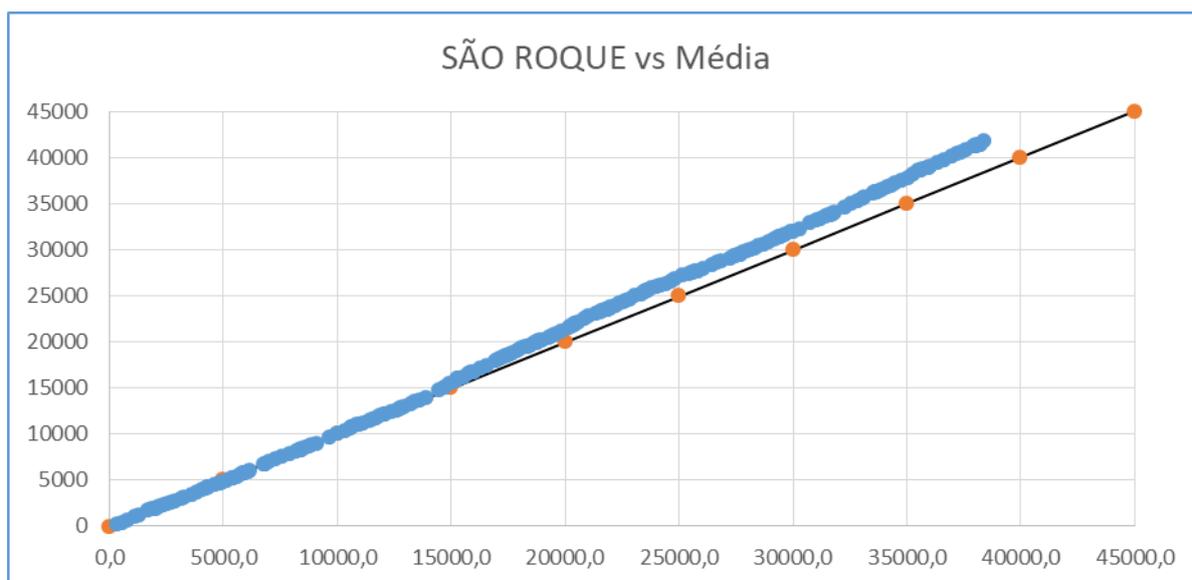
Fonte: Adaptado de ANA (2019)

Figura 2.2 – Comportamento da Estação Patrimônio na comparação à média dos acumulados das estações Parati, São Roque e Alto da Serra do Mar



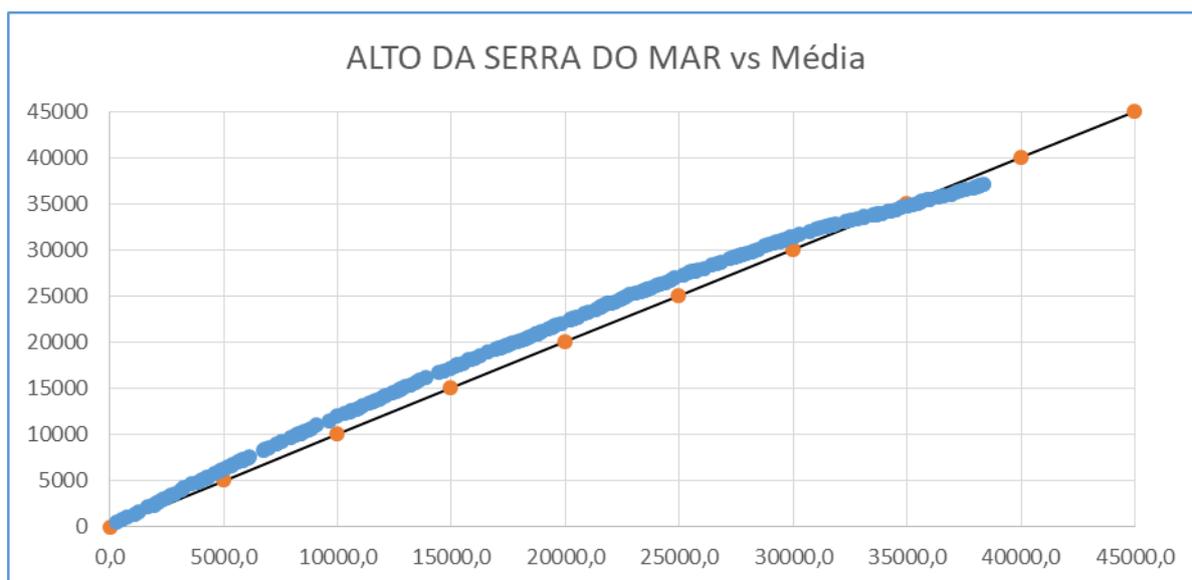
Fonte: Adaptado de ANA (2019)

Figura 2.3 – Comportamento da Estação São Roque na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, Parati e Alto da Serra do Mar



Fonte: Adaptado de ANA (2019)

Figura 2.4 – Comportamento da Estação Alto da Serra do Mar na comparação à média dos acumulados das estações Patrimônio, São Roque e Parati



Fonte: Adaptado de ANA (2019)

Como pode ser observado nas figuras, não motivação, pela análise realizada, para que se suponha qualquer inconsistência dos dados da Estação Parati. O comportamento é coerente com as outras estações da região, diferindo apenas nos valores de pluviosidade menores que a média da região.

### 2.3. COMPARAÇÃO COM DADOS DO ATLAS PLUVIOMÉTRICO

O Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2011) apresenta as isoietas anuais médias para Paraty (Figura 2.5). Junto as isoietas apresenta gráficos de alturas anuais médias para alguns pontos, entre eles o centro de Paraty e a Ponte Branca, que são locais próximos a Estação Parati.

No total, o Atlas Pluviométrico apresenta alturas de chuva para 8 pontos, dos quais 2 estão acompanhados por \* e 2 são estação com seus códigos explícitos na apresentação dos gráficos. As duas estações que são apresentadas são: São Roque (02344008) e Patrimônio (02344006). São demais pontos apresentados são referentes a localidades da região e incluem São Roque, Patrimônio, Paraty-Mirim, Paraty, Ponte Branca e Tarituba.

A mensagem referente a indicação do \* é: \* Médias mensais estimadas a partir das isoietas de médias mensais.

Então, 6 dos 8 pontos que tem suas médias mensais apresentadas, não tem suas médias de precipitação obtidas a partir de monitoramento, mas sim, a partir de uma estimativa.

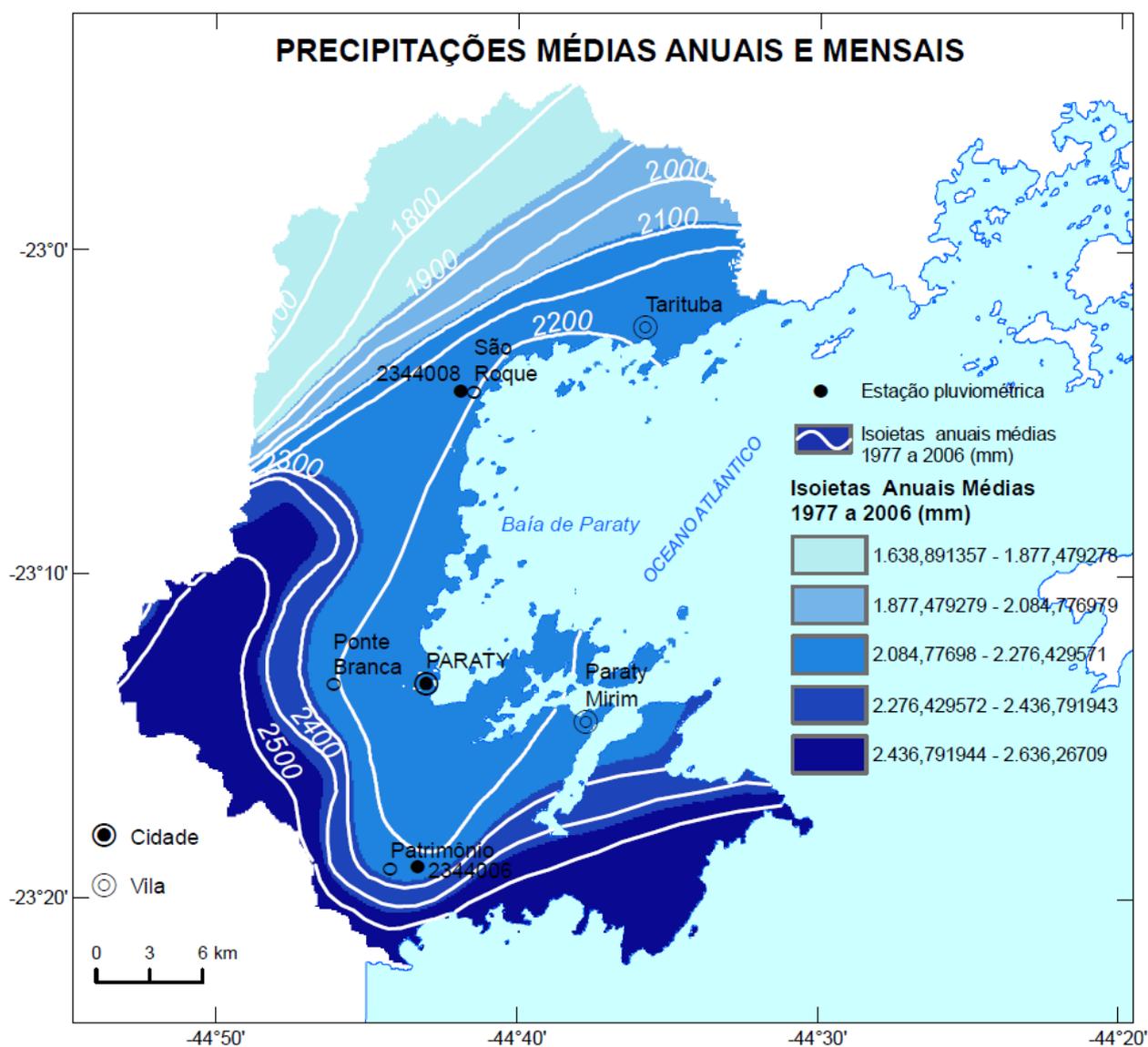
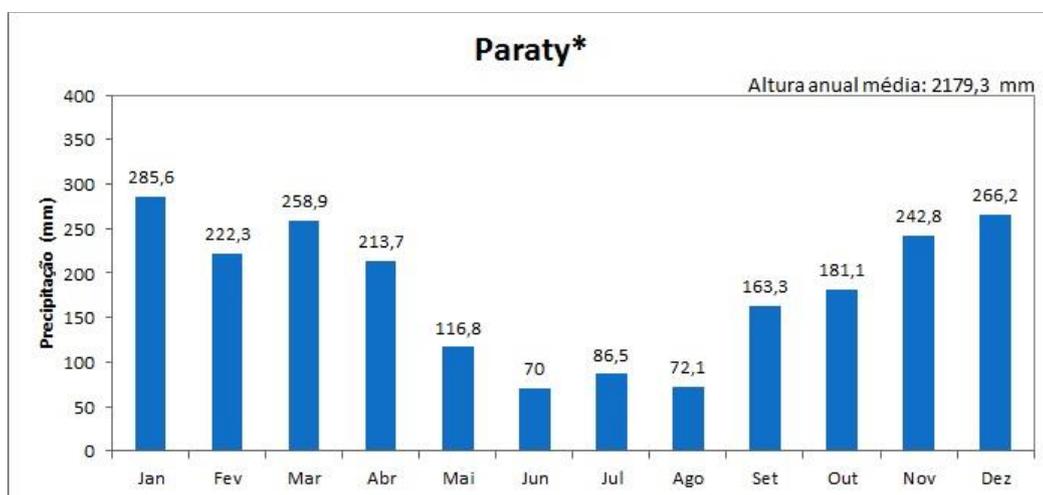


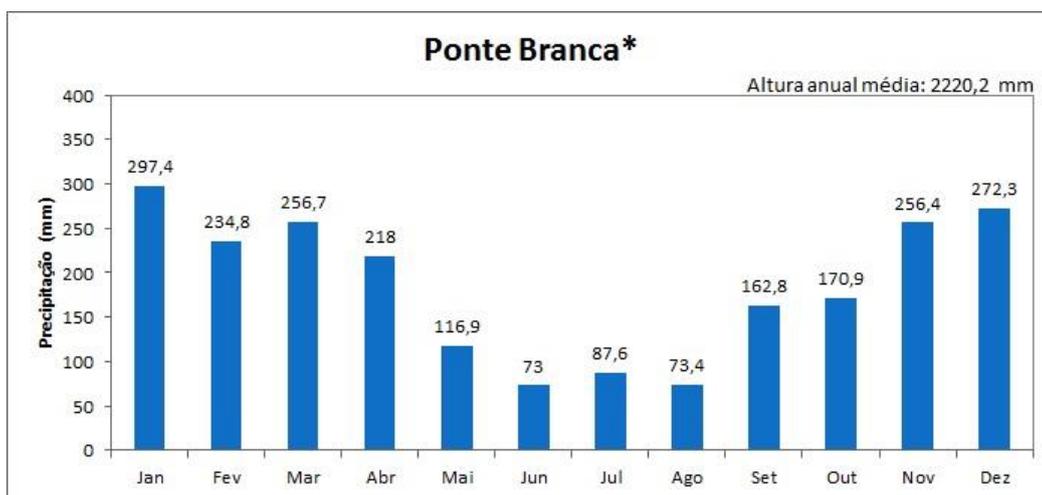
Figura 2.5 – Precipitações médias mensais em Paraty



Fonte: Atlas do Pluviométrico do Brasil (2011)

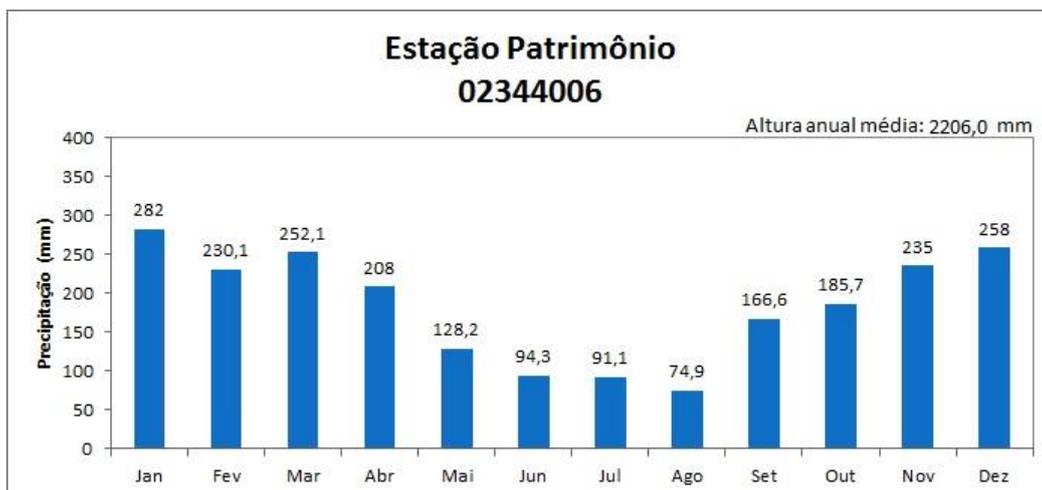


Figura 2.6 – Precipitações médias mensais na Ponte Branca



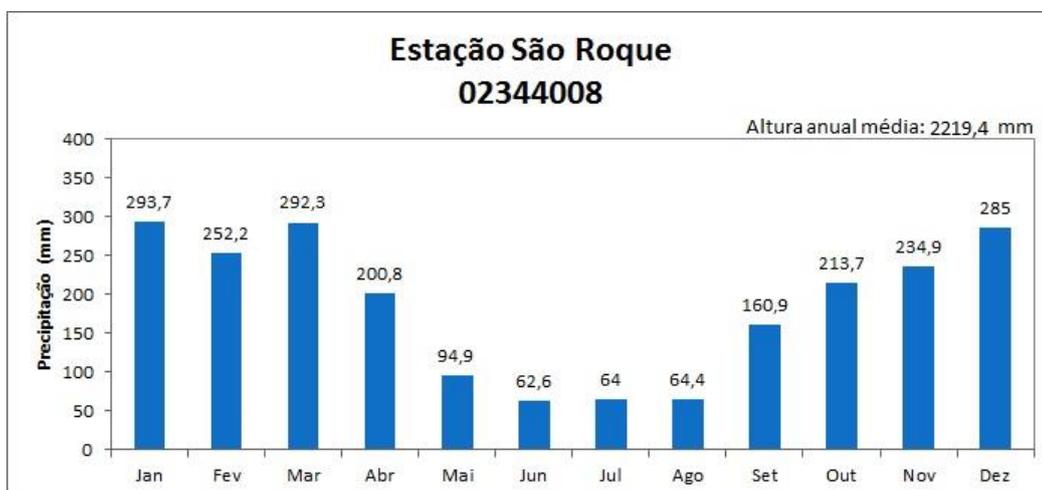
Fonte: Atlas do Pluviométrico do Brasil (2011)

Figura 2.7 – Precipitações médias mensais na Estação Patrimônio



Fonte: Atlas do Pluviométrico do Brasil (2011)

Figura 2.8 – Precipitações médias mensais na Estação São Roque



Fonte: Atlas do Pluviométrico do Brasil (2011)



---

Ou seja, as isoietas correspondem a análise realizada a partir de duas estações: Estação Patrimônio (02344006) e Estação São Roque (02344008). Na análise realizada no item 2.2, verificou-se que essas estações possuem regime acima da média regional, contrário à o que ocorre com a Estação Parati, que possui regime abaixo da média regional, de forma que o resultado apresentado para os pontos próximos a Estação Parati, pelo Atlas Pluviométrico apresentam, e só poderiam apresentar, valores anuais acima dos medidos na estação.

### 3. CONCLUSÕES

Não foram encontrados indicativos de que há alguma anormalidade nos resultados apresentados pela Estação Paraty (2344007). Com isso a utilização dessa estação na rede utilizada para o diagnóstico da disponibilidade é mantida.



## ANEXO II – ANÁLISE DAS CURVAS CHAVES DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS



---

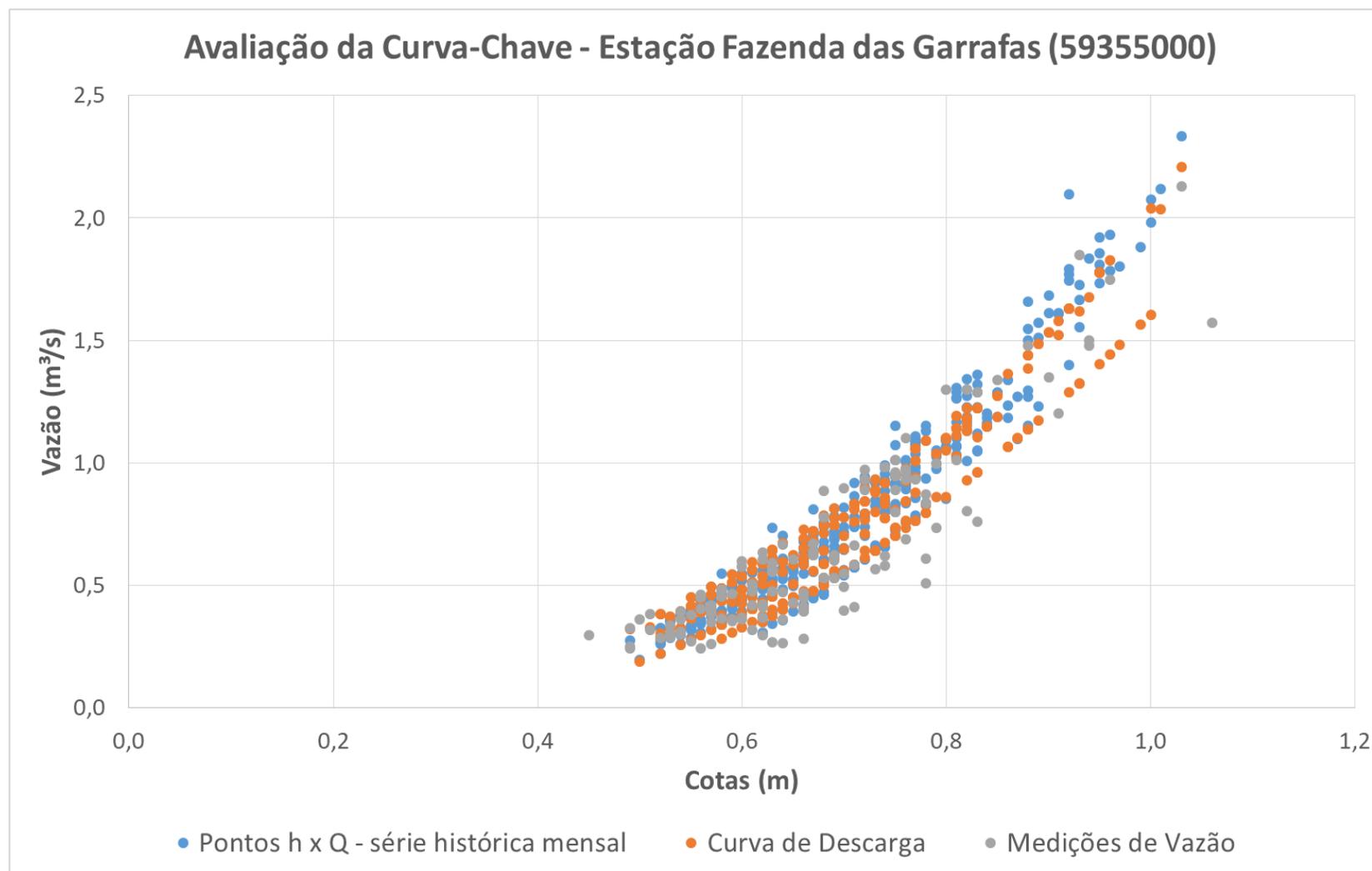
## 1. AVALIAÇÃO REALIZADA

Para a utilização dos dados das estações fluviométricas foi realizada uma análise de consistência dos dados baseado na aplicação das curvas-chave. Essa avaliação foi realizada utilizando os dados obtidos diretamente do hidroweb (ANA, 2018), especialmente as séries de observações e as equações das curvas-chave para os períodos e intervalos de cota das observações utilizadas.

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos a partir da apresentação dos pontos H (cota) e Q (vazão) da série histórica mensal, dos pontos gerados a partir das curvas de descarga e das medições de vazão.

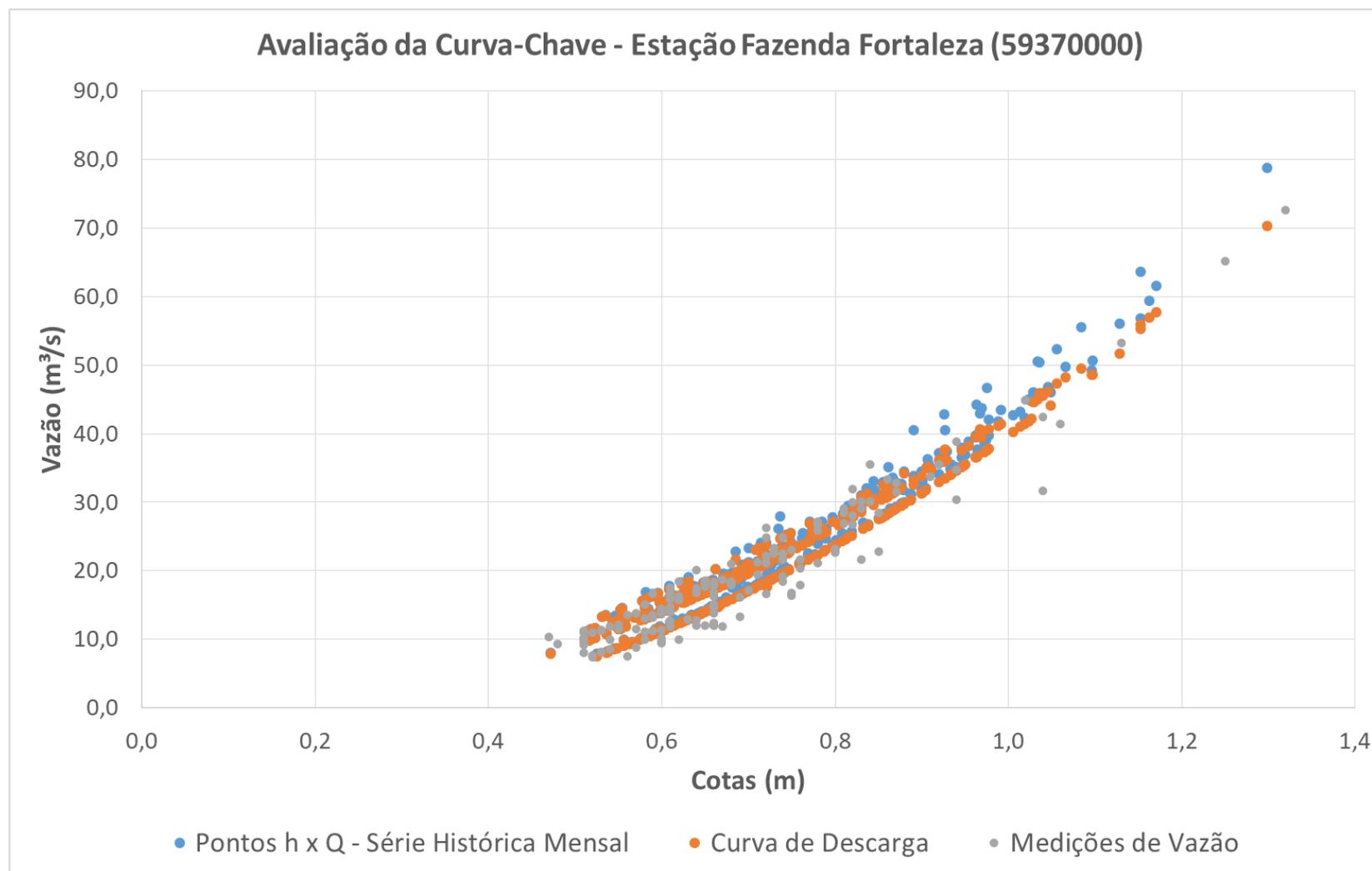
Como pode ser observado, para as três estações os pontos plotados a partir das curvas possuem boa correlação com os pontos das medições. Mesmo na estação Parati, que possui uma variabilidade de observações maior que as demais, as curvas para os períodos e cotas apresentam comportamento bastante semelhante aos dados observados.

Desta forma pode-se concluir que não há qualquer indicação de inconsistência nos dados utilizados.



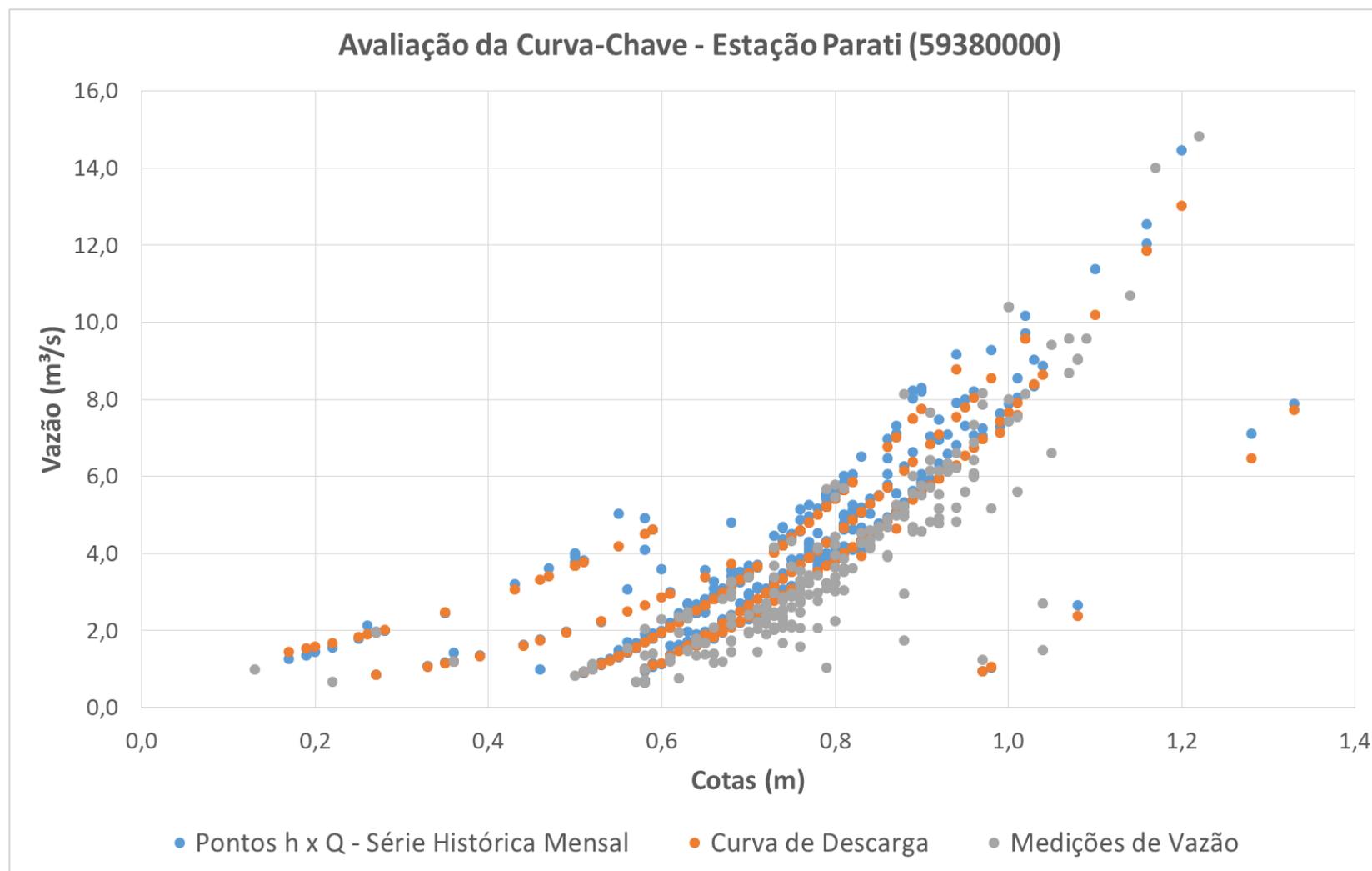
Fonte: Elaboração própria

Figura 1.1 – Avaliação da curva-chave para a estação Fazenda das Garrafas



Fonte: Elaboração própria

Figura 1.2 – Avaliação da curva-chave para a estação Fazenda Fortaleza



Fonte: Elaboração própria

Figura 1.3 – Avaliação da curva-chave para a estação Parati