



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FERNANDO DAVID DE SOUZA

ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DE ÂNIONS E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM MICROBACIAS DE ÁGUAS FLUVIAIS DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO

RIO DE JANEIRO
2012



FERNANDO DAVID DE SOUZA

ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DE ÂNIONS E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM MICROBACIAS DE ÁGUAS FLUVIAIS DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO

Monografia apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau em Geologia.

Orientador: Profa. Dra. Cícera Neysi de Almeida

Co-orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

RIO DE JANEIRO

2012

Souza, Fernando David de

ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DE ÂNIONS E
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM MICROBACIAS DE ÁGUAS
FLUVIAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO / Fernando David de Souza –
Rio de Janeiro, 2012

112p.

Monografia de graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, 2012

FERNANDO DAVID DE SOUZA

ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DE ÂNIONS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS
EM MICROBACIAS DE ÁGUAS FLUVIAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada à Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito
necessário para obtenção do grau em Geologia.

Orientação: Profa. Dra. Cícera Neysi de Almeida
Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Aprovada em 27/02/2012

Por:

Orientadora: Professora Cícera Neysi de Almeida, D.Sc. (UFRJ)

Orientador: Professor Gerson Cardoso da Silva Junior, D.Sc. (UFRJ)

Orientador: Professor Claudio Limeira Melo, D.Sc. (UFRJ)

Geóloga Fernanda Gonçalves da Cunha, D.Sc. (CPRM)

Agradecimentos

À Profª. Cicera Neysi de Almeida, pela orientação e a oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Profº Gerson Cardoso da Silva Junior, pela orientação e ajuda na interpretação dos resultados e revisão do texto.

Ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em especial à Fernanda Gonçalves da Cunha, pela realização das análises químicas dos ânions.

Gostaria de agradecer à minha família, especialmente minha mãe Eliane e meus irmãos Cláudia e Guilherme, pelo apoio ao longo de toda a vida.

Aos amigos, que me acompanharam ao longo desta jornada e que espero que permaneçam por muitas outras.

Souza, Fernando David de. Distribuição de ânions e parâmetros físico-químicos em microbacias de águas fluviais do estado do Rio de Janeiro. 2012. 101p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

RESUMO

O presente trabalho objetiva caracterizar as águas fluviais do Estado do Rio de Janeiro, visando à obtenção de um panorama da qualidade química e dos parâmetros físico-químicos desses corpos hídricos. Para a caracterização foram analisados os parâmetros físico-químicos pH, temperatura, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD), medidos *in situ* no instante da coleta de água, e as concentrações dos ânions cloreto, brometo, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato medidos por cromatografia iônica, cedidos pela CPRM, e a razão rCl/rBr . Foram amostrados 78 pontos em diferentes rios de bacias e microbacias do estado e buscou-se observar a distribuição desses valores através de gráficos, diagramas e mapas de teoresteoresteores, que junto com as informações observadas em campo permitiram obter um panorama da qualidade química das águas fluviais do estado. Os dados analíticos, os rios e bacias hidrográficas foram espacializados utilizando o *software* ArcGis 9.3 ESRI. A delimitação das bacias hidrográficas e rios foi realizada com o *software* e as informações extraídas automaticamente a partir de imagens de satélite. Os resultados mostram que na maioria dos rios amostrados as concentrações dos valores estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução 357/05 do CONAMA para águas doces, incluindo os valores de pH, que ficaram entre 6 e 9. Os limites extrapolados foram detectados para valores de cloreto (duas ocorrências), sulfato, nitrato e nitrito (uma ocorrência cada) e fosfato (quinze ocorrências). O rio São João foi o único com concentração de nitrito acima do estabelecido pela resolução 357/05 do CONAMA e foi associado a fontes antrópicas relacionadas a atividades agropecuárias na região. A distribuição de altas concentrações de cloreto, brometo, sulfato e condutividade elétrica nos rios situados na região litorânea, onde também foram identificadas razões rCl/rBr acima da média estabelecida para água do mar, foram associados à interação entre o ambiente fluvial costeiro com o ambiente marinho mais salino. Os altos valores de nitrato, fosfato e fluoreto foram identificados na região do médio Paraíba do Sul, sendo associados a fontes não naturais, onde foram identificados despejo de esgotos e lixo nas margens.

Palavras-Chave: Hidroquímica, Ânions, Águas fluviais, Rio de Janeiro, Geoquímica ambiental.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Solubilidade do gás oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1 atm (760 mmHg). Fonte: Fiorucci & Filho, 2005.	8
Figura 2 – Localização da área de estudo. (Fonte IBGE))	19
Figura 3 – Climas Zonais do Brasil. (Fonte: IBGE).....	20
Figura 4 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município do Rio de Janeiro. (Fonte: INMET)	22
Figura 5 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Campos dos Goytacazes.	22
Figura 6 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Cordeiro. (Fonte: INMET).	23
Figura 7 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Itaperuna. (Fonte: INMET).....	23
Figura 8 —Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Resende. (Fonte: INMET).	24
Figura 9 - Mapa geomorfológico do Estado do rio de Janeiro (Fonte: Dantas, 2000).	28
Figura 10 - Legenda do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Dantas, 2000).	29
Figura 11 - Mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro (a partir de dados vetoriais do IBGE, 2011). Legenda no texto.	30
Figura 12 – Legenda do Mapa de Uso e Cobertura do Solo (Jacques & Shinzato, 2000).	33
Figura 13 – Mapa de uso e cobertura do solo do Estado do Rio de Janeiro (Jacques & Shinzato, 2000)..	34
Figura 14 - Uso e ocupação do solo na região do médio rio Paraíba do Sul (Jacques & Shinzato, 2000). 35	35
Figura 15 - Uso e ocupação do solo no entorno da baía de Guanabara (Jacques & Shinzato, 2000).....	35
Figura 16- Uso e ocupação do solo na região litorânea no trecho entre Maricá e Saquarema (Jacques & Shinzato, 2000).....	35
Figura 17- Uso e ocupação do solo na região litorânea entre Armação de Búzios e Rio das Ostras (Jacques & Shinzato, 2000).	35
Figura 18 - Mapa tectônico do Segmento central do Sistema Orogênico Mantiqueira. Legenda. 1- Riftes Cenozóicos; 2- Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília (3-4):3- Nappes Inferiores; 4- Nappes Superiores; 5- Embasamento do CSF e domínio autóctone;6- Supergrupo São Francisco; 7- Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13):8- Domínio Andrelândia e 9- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10- Grupo Paraíba do Sul;11- Terreno Oriental; 12- Granitóides do Arco Magmático Rio Negro; 13- Terreno Cabo Frio; Orógeno Apiaí/Paranapiacaba (14-15): 14- Terrenos São Roque e Açunguá; 15- Terreno Embu. (Heilbron, 2003).....	47
Figura 19 - Regiões Hidrográficas do Brasil (MMA, 2006b).	48
Figura 20 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Brasil, 2006).	50
Figura 21 – Rio Paraíba do Sul banhando o município de São Fidélis no NW fluminense.	50
Figura 22 Mapa de localização de coleta de água fluvial.....	52
Figura 23 - Coleta de água em ponte sobre um rio.....	54
Figura 24 - Utilização da seringa e do filtro para coleta de água.	54
Figura 25 - Adição de gotas de HNO ₃	54
Figura 26 - Fitas coloridas na identificação das amostras.	54
Figura 27 - Multisonda utilizada para medir <i>in situ</i> os parâmetros físico-químicos.	54
Figura 28 - Armazenamento das amostras após a coleta de água.	54
Figura 29 - Articulação dos arquivos derivados do SRTM.	56
Figura 30 - Arquivos MDE unificados com a ferramenta (<i>Mosaic to New Raster</i>)	57
Figura 31 MDE representando a área de estudo e que passou a ser a base dos próximos arquivos gerados durante o geoprocessamento.	57

Figura 32 - Fluxograma das etapas de delimitação de bacias hidrográficas com o pacote <i>Hidrology</i>	59
Figura 33 - Preenchimento de depressões no MDE. (Fonte: Alves Sobrinho <i>et al.</i> , 2010).....	60
Figura 34 - Mapa de direção de fluxo no baixo curso do rio Paraíba do Sul. As cores indicam as oito direções de escoamento.....	61
Figura 35 - Quadro esquemático de acumulação de fluxo - os valores na figura da esquerda representando o número de células que drenam para cada célula do mapa (Fonte: ESRI, 2006).	62
Figura 36 - Mapa de acumulação de fluxo no baixo curso do rio Paraíba do Sul.....	62
Figura 37 - Ordem dos canais segundo critério de Strahler	64
Figura 38 - Bacias de drenagem geradas com o <i>Arcgis 9.3</i> para os pontos onde foi feita coleta de água fluvial.	64
Figura 39 - Gráfico mostrando os valores de pH para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	65
Figura 40 - Gráfico mostrando os valores de condutividade para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.* O rio Suruí não está no gráfico	66
Figura 41 - Gráfico mostrando os valores de temperatura para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	67
Figura 42 - Gráfico mostrando os valores de OD para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	68
Figura 43 - Núcleo urbano desenvolvido em torno do rio Brandão. A coleta de água fluvial foi realizada sobre a ponte no centro ao fundo da foto.	69
Figura 44 - Parte do sistema de esgoto sendo despejado no rio Brandão. fonte: Rodrigues (2008).	69
Figura 45 - Gráfico mostrando os valores de cloreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	70
Figura 46 - Gráfico mostrando a distribuição dos valores de brometo para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.....	71
Figura 47 Gráfico mostrando os valores de nitrito para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro....	72
Figura 48 - Foto das margens do rio da Lapa em Mangaratiba, onde a concentração de sulfato foi a mais elevada.....	73
Figura 49 - -- Gráfico mostrando os valores de fluoreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	74
Figura 50 - Águas cristalinas no rio Campo Belo em Itatiaia. Esse ponto é um dos mais baixos valores de fluoreto.	75
Figura 51 - Gráfico mostrando os valores de fluoreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	76
Figura 52 - Ponte de acesso ao rio Ludegero e a ocupação urbana em suas margens.....	77
Figura 53 - Aspecto da água no ponto de coleta do rio Ludegero.....	78
Figura 54 - Coloração da água do rio Ludegero.....	78
Figura 55 - Local de coleta da amostra do rio Bananal em Barra Mansa. Observam-se construções à beira do rio, com acúmulo de entulho e lixo na margem do curso d'água, sem consciência ambiental.	78
Figura 56 - Foto retirada da ponte sobre o rio Tanguá, mostrando o seu entorno, e que o local da coleta foi em trecho afastado da zona urbana.....	80
Figura 57 - Foto do ponto de coleta no rio Tanguá, onde localizadamente foi encontrada uma olaria (no fundo à esquerda da foto).	80
Figura 58 - Trecho onde foi coletada água do rio Alambari, situado em zona urbana.....	82
Figura 59 - Despejo de sistemas de saneamento nas margens do rio Alambari.	82
Figura 60 - Ponte sobre o rio Barra Mansa no município homônimo, mostrando que o trecho da coleta de água fluvial foi realizada em zona urbana.	83
Figura 61 - Ocupação Urbana e despejo de material sólido (lixo) na margem do rio Barra Mansa.	83
Figura 62 - Gráfico mostrando os valores de nitrito para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.	83
Figura 63 - Foto do rio São João em Barra de São João (distrito de Casimiro de Abreu), onde foi encontrado valor de concentração de nitrito acima do limite estabelecido pelo CONAMA.....	84
Figura 64 - Gráfico com os valores de rCl/rBr para os rios coletados antes do dia 11/01/2011.....	85
Figura 65 - Gráfico com os valores de r para os rios coletados depois do dia 11/01/2011.	86
Figura 66 - Gráfico $Cl^- \times rCl/rBr$ com os valores obtidos para as amostras coletadas antes do dia 11/01/2011 . O círculo é referente ao rio Seco que pode estar sob influência de produtos agroquímicos.	88
Figura 67 - Ponto de coleta de água do rio Seco em Saquarema. A influência de produtos agroquímicos é associada ao valor de rCl/rBr abaixo de 400 e cloreto acima de 10 mg/L.....	88

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Minerais que contem flúor em sua composição, concentração média de flúor e principal ocorrência. (Deer <i>et al.</i> , 1997).....	11
Tabela 2 - Áreas florestadas no Brasil (extraído de MMA, 2010).	24
Tabela 3 - Pontos de água fluvial que apresentaram valores para o íon fosfato acima do limite estabelecido pela resolução nº 357/2005 do CONAMA.	76
Tabela 4 - Rios que apresentam rCl/rBr acima de 700 entre 05 e 11/01/2011.	86
Tabela 5 - Rios que apresentam rCl/rBr acima de 700 após 11/01/2011.....	86
Tabela 6 - Rios situados na planície litorânea com valores de ânions, CE e rCl/rBr	89
Tabela 7 - Rios com valores de rCl/rBr acima de 700 e CE acima de 100, indicando influência da água do mar salinizada no aumento das concentrações analisadas.....	90
Tabela 8 - Cursos d'água com poluição de esgoto e lixo. Todos tributários do rio Paraíba do Sul.	91

SUMÁRIO

RESUMO	<i>vi</i>
SUMÁRIO	<i>x</i>
1. INTRODUÇÃO	<i>1</i>
2. OBJETIVO	<i>2</i>
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	<i>3</i>
3.1. Bacias Hidrográficas	<i>3</i>
3.2 Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)	<i>5</i>
3.2 Parâmetros Físico-Químicos de Interesse ao Estudo de Bacias Hidrográficas	<i>6</i>
3.2.1 pH.....	<i>6</i>
3.2.2 Condutividade.....	<i>7</i>
3.2.3 Temperatura	<i>7</i>
3.2.4 Oxigênio dissolvido	<i>8</i>
3.3 Constituintes Iônicos	<i>9</i>
3.3.1 Cloreto.....	<i>9</i>
3.3.2 Brometo	<i>9</i>
3.3.3 Sulfato.....	<i>10</i>
3.3.4 Fluoreto	<i>10</i>
3.3.5 Fosfato	<i>12</i>
3.3.6 Formas Nitrogenadas	<i>12</i>
3.4 Razão Iônica rCl/rBr	<i>14</i>
3.5 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	<i>15</i>
3.5.1. Modelos Digitais de Elevação (MDE)	<i>16</i>
3.6 Recursos Hídricos	<i>18</i>
4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	<i>19</i>
4.1. Localização da Área de Estudo	<i>19</i>
4.2 Aspectos fisiográficos	<i>19</i>
4.2.1 Clima	<i>19</i>
4.2.2 Vegetação	<i>24</i>
4.2.3 Geomorfologia.....	<i>26</i>
4.2.4 Solos	<i>29</i>
4.2.5. Uso e Cobertura do Solo	<i>32</i>
4.3. Geologia	<i>35</i>
4.3.1 Contexto Geotectônico	<i>35</i>
4.3.2 Estratigrafia	<i>37</i>
4.4. Hidrografia.....	<i>47</i>
4.4.1 Divisão Hidrográfica do Território Brasileiro	<i>47</i>
4.4.2 Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste	<i>48</i>
4.4.3 As Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....	<i>49</i>
5. METODOLOGIA	<i>50</i>
5.1. Etapas de Campo	<i>51</i>
5.1.1. Coleta das Amostras	<i>51</i>
5.2. Etapas de Laboratório	<i>55</i>
5.2.1. Análises Químicas	<i>55</i>
5.2.2 Geoprocessamento	<i>55</i>

5.2.2.1 Obtenção dos Modelos Digitais de elevação (MDEs)	56
5.2.2.2 Pré-processamento dos dados (Tratamento inicial do MDE)	56
5.2.2.3 Mapas de Teores.....	58
5.2.2.4 Delimitação de Bacias de drenagem	58
a) <i>Fill (Arquivo com depressões preenchidas)</i>	59
b) <i>Direção de fluxo (Flow direction)</i>	60
c) <i>Acumulação de fluxo (Flow Accumulation)</i>	61
d) <i>Reclassificação (Reclassify)</i>	63
e) <i>Ordem dos canais (Stream order)</i>	63
f) <i>Delimitação de Bacias de drenagem (Watershed)</i>	63
6. RESULTADOS.....	65
6.1 Parâmetros físico-químicos	65
6.1.1 <i>pH</i>	65
6.1.2 <i>Condutividade Elétrica (C.E)</i>	66
6.1.3 <i>Temperatura</i>	67
6.1.4 <i>Oxigênio dissolvido (OD)</i>	68
6.2 Constituintes Iônicos.....	69
6.2.1 <i>Cloreto (Cl⁻)</i>	69
6.2.2 <i>Brometo (Br⁻)</i>	71
6.2.7 <i>Sulfato</i>	72
6.2.3 <i>Fluoreto (F⁻)</i>	73
6.2.4 <i>Fosfato</i>	75
6.2.5 <i>Nitrato</i>	80
6.2.6 <i>Nitrito</i>	83
6.3 Razão Iônica (rCl/rBr).....	85
7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	88
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXO I.....	102
Tabela com os Dados das concentrações dos parâmetros físico-químicos e ânions ..	102
ANEXO II.....	106
Mapas de teoresteores.....	106

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à vida. Em termos de quantidade, do volume total de água na Terra, apenas 2,5% é de água doce, e somente cerca de 0,3% do volume total de água doce constitui a porção de água superficial presente em rios e lagos, as quais estão passíveis de uso pelo homem (Casali, 2008). Águas superficiais constituem um recurso visível e de grande importância para o homem e, devido à displicência deste em relação aos rios e lagos, aliada ao gerenciamento desordenado, a qualidade dos recursos hídricos pode ser comprometida afetando a vida do homem e dos demais seres vivos.

A gestão de recursos hídricos de forma sustentável demanda um conjunto de instrumentos principais que incluem uma base de dados simples e bem articulada, acessível, com certo grau de confiabilidade, a definição clara dos direitos de uso, do controle de impactos sobre os sistemas hídricos e suas escalas, de forma que auxiliem o processo de tomada de decisão. O bom funcionamento e a decisão qualificada na gestão de recursos hídricos dependem de capacitação e de bons sistemas de informação (Porto & Porto, 2008).

No Brasil, o marco legal na gestão dos recursos hídricos é o Código de Águas, estabelecido em 1934 com o decreto Federal nº 24.643, mas que permanece até hoje como a Lei nº9433/97, que ficou conhecida como a “Lei das Águas” e que, no artigo 1º, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para gestão de recursos hídricos, e ordenou a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que fundamenta a água como um bem de domínio público e um recurso natural e limitado. O artigo 2º determina os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre eles assegurar às gerações a necessária disponibilidade de água e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos. A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; e a integração da gestão das bacias hidrográficas com as zonas costeiras são definidos como diretrizes no artigo 3º. O capítulo quatro estabelece: 1) que os Planos de Recursos Hídricos sejam planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País; 2) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; 3) a implantação do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é definido como um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

A necessidade de planejamento e monitoramento dos recursos hídricos, diante de problemas como escassez de água, coloca em pauta a importância da padronização na demarcação das características dos recursos hídricos no âmbito de microbacias.

Neste contexto, o presente trabalho constitui uma contribuição a essa caracterização, tendo sido realizado no marco do Projeto Rio de Janeiro, seguindo as diretrizes do Projeto Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro da CPRM. Inclui estudos relacionados a geoquímica ambiental, hidrologia, hidrogeologia e diagnóstico ambiental, buscando estudar o comportamento (distribuição) dos principais parâmetros físico-químicos e alguns ânions presentes nas águas fluviais do Estado do Rio de Janeiro. A distribuição destes dados pode representar ou indicar possíveis alterações por contaminantes naturais ou antrópicos. Foram realizadas amostragens distribuídas nos principais componentes da rede drenagem para que as regiões hidrográficas que compõem o estado estivessem representadas.

Buscou-se representar esses dados e análises através de gráficos e diagramas que permitiram a visualização de uma série de aspectos das águas fluviais do estado, muitas delas empregadas como fonte de abastecimento da população fluminense. As águas fluviais constituem mais de 90% da água consumida no Estado do Rio de Janeiro.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é o reconhecer anomalias químicas em microbacias no Estado do Rio de Janeiro analisando a distribuição dos parâmetros físico-químicos pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura e condutividade elétrica (CE), além dos ânions fluoretos, cloretos, brometos, nitritos, nitratos e sulfatos, e a razão iônica r_{Cl}/r_{Br} detectados em águas fluviais do estado, de tal modo que possam ser utilizados como indicadores de contaminação natural ou poluição provocada por atividade antrópica, como também de áreas para pesquisa mineral.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica pode ser considerada como uma área de captação natural de água de precipitação que faz convergir o escoamento em direção a um ponto de saída chamado de exutório (Porto & Porto, 2008; Tucci, 2008)

Moulton & Souza (2006) admitem a bacia hidrográfica como unidade de ecossistema e como unidade espacial.

Na primeira abordagem, a bacia hidrográfica é considerada como a unidade mais básica da paisagem terrestre, e é reconhecida como uma unidade básica de ecossistema terrestre porque reúne partes do meio ambiente que interagem local e regionalmente através do fluxo de materiais e organismos mediados pela água, representando os limites físicos dos ecossistemas terrestres.

Na segunda abordagem, como unidade espacial, a bacia hidrográfica é a definição topográfica da área de escoamento da chuva por um sistema interligado de corpos hídricos que convergem para uma única saída. Os limites entre bacias são definidos pelas linhas de maior altitude que separam as faces de uma elevação do relevo. Assim, a rede de drenagem formada pelos corpos hídricos continentais, especialmente rios e córregos, molda a paisagem, conferindo padrões previsíveis sobre sua topografia, geoquímica, clima e distribuição de espécies vegetais e animais.

As características da água em determinado ponto de um rio é produto das características da água em um ponto anterior muitas vezes modificada por diversos fatores atuantes no trecho que separa os pontos. Estes fatores podem ser características físicas e geomorfológicas do leito do rio, misturas da água com qualidades diferentes, presença de vegetação ciliar, regime climático, presença de comunidades e pelas interferências antrópicas (Sé, 1992; Arcova & Cicco, 1999; Anido, 2002).

Mendiondo & Tucci (1997) admitem que o início da preocupação ambiental na década de 70 serviu para levantar algumas questões a respeito do impacto resultante do uso do solo rural e urbano sobre a qualidade e a quantidade dos rios e quais as ações necessárias para a redução desses impactos. Neste mesmo trabalho, os autores relatam que para tentar responder a essas questões foi necessário parar de representar os processos na bacia de forma empírica e estacionária e relatam que estudos desenvolvidos nos anos 60 a 80 criaram várias bacias experimentais ou representativas, no entanto os resultados apresentados eram limitados

principalmente porque a transferência do conhecimento da microescala para a meso e macroescala não é direta.

A questão da escala a ser utilizada depende, dentre outras razões, do problema a ser solucionado, pois pode ser delimitada na sua totalidade, desde suas cabeceiras mais distantes até seu exutório, que em muitos casos é o mar, assim como podem ser separadas suas sub-bacias, maiores ou menores, sendo o tamanho ideal de bacia hidrográfica aquele que dependendo da precisão do problema a ser considerado satisfaz as necessidades apresentadas na sistemática de gestão dos recursos hídricos (Porto & Porto, 2008).

A representação dos processos hidrológicos tem alguns aspectos que merecem destaque. Dentre eles, citam-se a heterogeneidade espacial dos sistemas hídricos e a incerteza com a qual os parâmetros e processos são medidos em diferentes escalas; a dificuldade de representar os processos caracterizados e analisados na microescala para outras escalas da bacia hidrográfica; a baixa relação entre os parâmetros de modelos matemáticos com as configurações espaciais diferentes encontradas na natureza (Mendiondo & Tucci, 1997).

As Geociências enfrentam um problema em comum: a complexidade dos processos das escalas menores e a relativa simplicidade com a qual eles são integrados nas escalas maiores, como, por exemplo, os limitados resultados obtidos pelos modelos para responder questões como o das ações antrópicas em diferentes escalas da bacia (Mendiondo & Tucci, 1997). Na natureza, não é possível impor escalas, mas deve-se procurar aquelas que atendam ao caso em particular em questão e tratar de entender suas relações e padrões (Mendiondo & Tucci, 1997).

Frente a esses problemas de generalização dos processos em escalas menores e a extrapolação para escalas maiores, a escala adotada para se trabalhar neste estudo foi a delimitação das bacias e microbacias distribuídas ao longo do Estado, na tentativa de compatibilizar processo e amostragem.

O conceito de bacia hidrográfica cada vez mais vem sendo utilizado como uma unidade ecossistêmica na área de planejamento ambiental e a subdivisão das bacias hidrográficas em sub-bacias hidrográficas e microbacias hidrográficas possibilita a organização, realização de estudos e o desenvolvimento de ações em uma escala mais detalhada de trabalho (Teodoro *et al.*, 2007).

A concentração de elementos químicos bem como sua representação sob forma de mapas tem um interesse direto sobre a ocupação humana e a exploração da superfície terrestre. As metodologias de cartografia geoquímica evoluíram de tal forma que já é possível obter informação acerca da química do ambiente superficial. A água superficial é cada vez mais utilizada como meio na cartografia geoquímica a diversas escalas e apresenta particular

utilidade em estudos ambientais. Quando as concentrações químicas dos elementos são obtidas segundo normas e critérios pré-estabelecidos, estes podem ser utilizados na elaboração de mapas com os teores dos elementos, que auxiliam na espacialização dos dados e interpretação dos resultados. (Darnley *et al.*, 1986)

Simões (2008) destaca que através da cromatografia iônica é possível calcular muitos íons com boa precisão e rapidez e individualizar espécies químicas do mesmo elemento, como no caso do nitrito e nitrato. O método pode ser aplicado com eficiência em águas potáveis, na determinação de Brometo, Cloreto, Fluoreto, Nitrato, Nitrito, Fosfato, Sulfato e outros íons, tendo em conta que as amostras devem ser recolhidas em frasco limpos de polietileno ou polipropileno e conservadas adequadamente, podendo ser utilizados na espacialização de resultados.

3.2 Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

O CONAMA é composto por Plenário, Comitê de Integração de Políticas Ambientais (CIPAM), Grupos Assesores, Câmaras Técnicas e Grupos de Trabalho. O Conselho é presidido pelo Ministro do Meio Ambiente (MMA) e sua Secretaria Executiva é exercida pelo Secretário-Executivo do MMA.

È da competência do CONAMA: estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos; e deliberar, sob forma de resoluções, o cumprimento dos objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Para a análise dos níveis considerados perigosos à saúde dos seres vivos, em relação às concentrações dos elementos, foram utilizados os teores da Resolução 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

As águas doces do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes.

Para a interpretação de níveis de poluição dos ambientes aquático foram utilizados os limites da classe II, da referida resolução, pois, águas nesta classe podem ter usos diversos (ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho) além de ser um bom parâmetro para a discussão de resultados. Os limites de concentração dos parâmetros físicos químicos e dos componentes iônicos, utilizados neste trabalho, estabelecidos pela Resolução 357/2005 são mostrados na Tabela.

Tabela 1 - Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe II.

<i>Variável</i>	<i>Limiar</i>
pH	6 a 9
Oxigênio dissolvido	>5 mg/l
Cloreto	250 mg/l
Fluoreto	1,4 mg/l
Fosfato	0,30 mg/l
Nitrato	45 mg/l
Nitrito	3,3 mg/l
Sulfato	250 mg/l

Brometo, condutividade elétrica e temperatura fazem parte das variáveis analisadas porém não tem limites estabelecidos nesta resolução.

3.2 Parâmetros Físico-Químicos de Interesse ao Estudo de Bacias Hidrográficas

3.2.1 pH

O pH pode ser descrito como a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelos íons presentes. É basicamente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. Varia de 1 a 14, sendo neutro com valor 7, ácido com valores inferiores a 7 e alcalinos ou básicos com valores superiores a 7. A escala dos valores de pH é tal que a mudança de uma unidade significa um aumento de 10 vezes na concentração do íon hidrogênio.

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro químico importante em muitos estudos no campo de qualidade da água e do saneamento ambiental (CETESB, 2009).

A influência do pH sobre os ecossistemas naturais aquáticos dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, e indiretamente também podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos que podem vir a ser tóxicos como metais pesados; ou pode exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (CETESB, 2009) e também nas classes de enquadramento de águas naturais fixados pela resolução nº357/2005 do CONAMA.

3.2.2 Condutividade

Segundo a CETESB (2009), a condutividade elétrica pode ser definida como a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, e depende das concentrações dos íons e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Muitas vezes, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem indicar possíveis ambientes impactados. A condutividade elétrica fornece também, com certo grau de confiabilidade, modificações na composição de determinada água, e à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Como a condutividade elétrica aumenta com a elevação da temperatura, a temperatura de referência da água amostrada é de extrema importância (nos condutivímetros modernos já se corrige a condutividade elétrica em relação à temperatura da água).

3.2.3 Temperatura

Variações de temperatura fazem parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais, diurnas e vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais e usinas termoelétricas (CETESB, 2009).

3.2.4 Oxigênio dissolvido

Representa a quantidade de oxigênio molecular (OD) dissolvido na água e expresso, geralmente, em mg.L^{-1} ou porcentagem de saturação em uma dada temperatura e pressão.

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998). As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Varia em função da temperatura (Fig. 1) e salinidade da água e da pressão atmosférica.

Reduções significativas nos teores de OD podem ser provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água. Por outro lado, as perdas de oxigênio são causadas pelo consumo da decomposição da matéria orgânica (oxidação; eq. 1), por perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos (Fiorucci & Filho, 2005).

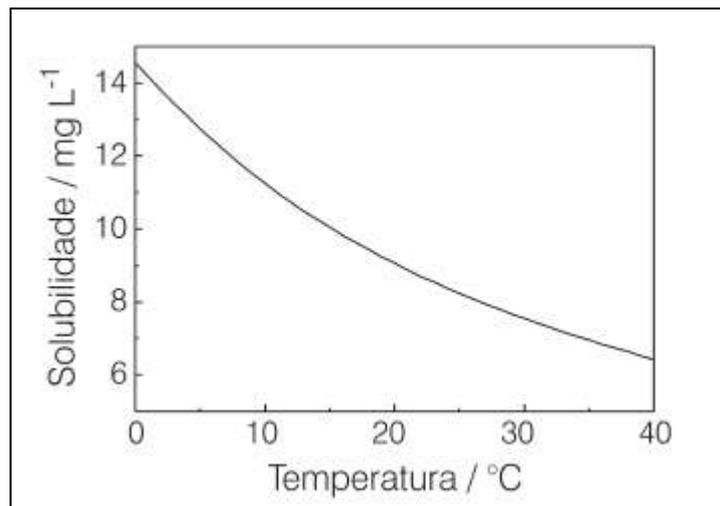
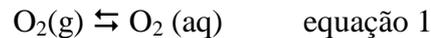


Figura 1 - Solubilidade do gás oxigênio em água a várias temperaturas, na pressão atmosférica de 1 atm (760 mmHg). Fonte: Fiorucci & Filho, 2005.

3.3 Constituintes Iônicos

3.3.1 Cloreto

Embora o cloro possa ocorrer em vários estados de oxidação, a forma cloreto é a mais importante na água exposta a atmosfera e formam pares de íons ou complexos iônicos com cátions nas águas naturais. O cloreto, em geral, é muito estável em solução e dificilmente se precipita, não oxida e nem se reduz em águas naturais. É proveniente de minerais ferro-magnesianos de rochas ígneas (pobres em cloretos) e de rochas evaporíticas tal como sal-gema. Altas quantidades de cloretos são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo o seu crescimento, além de ser considerado como bom indicador de poluição (Hem, 1985).

Todas as águas naturais, em maior ou em menor grau, contêm íons cloreto resultantes da dissolução de minerais ou de sais e da intrusão de águas salinas no continente. Altas concentrações de cloretos impedem o uso da água para a agricultura e exigem tratamento adequado para usos industriais (Pereira, 2004).

Cloretos estão presentes nas águas naturais com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces, porém são mais abundantes na água do mar, com valores entre 18.000 e 21.000 mg/L, podendo chegar a 220.000 mg/L nas salmouras naturais (Custodio e Llamas, 1983).

3.3.2 Brometo

O bromo tem comportamento químico similar ao cloro, porém é muito menos abundante na natureza, tendo as maiores concentrações na água do mar (65 mg/L) em salmouras (>1000 mg/L). Em águas de chuva a concentração varia de 0,005 mg/L a 0,15 mg/L (Hem, 1985).

O bromo possui elevada toxidez e, sob determinadas condições ambientais, sejam redutoras ou oxidantes, mostra uma grande mobilidade e possibilidade de dispersão. Por sua vez, o bromo pode estar relacionado com o emprego de pesticidas organoclorados diretamente na lavoura ou na preservação de grãos durante a armazenagem (brometo de metila). Também é utilizado na produção de inibidores de chama em plásticos, produtos fotográficos e medicamentos (Winter, 1998). As regiões com anomalias de bromo encontram explicação quando associadas e interpretadas com dados relativos à ocupação e uso do solo e principalmente à atividade agrícola. A interseção desta anomalia com região de culturas vegetais sugere que seja a expressão do

impacto ambiental de produtos usados nessa atividade e que contêm bromo na molécula do princípio ativo.

3.3.3 Sulfato

As fontes de enxofre para o meio aquático são: decomposição de rocha, chuvas e agricultura, através da aplicação de adubos contendo enxofre. Originam-se da oxidação do enxofre presente nas rochas, da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) e geralmente formam-se a partir da oxidação do gás sulfídrico no meio aquático oxigenado. Esta oxidação pode ser química ou biológica por microrganismos.

Em ambientes próximos ao mar, as concentrações de sulfato são maiores, já que nos oceanos o sulfato é mais abundante. Desta forma, as concentrações de sulfato podem variar desde valores não detectáveis, em ambientes continentais, como podem chegar a valores em torno da saturação nos oceanos e em ecossistemas localizados próximos ao mar (Hem, 1985).

A água do Oceano Atlântico apresenta, em média, 2.180 mg/L de sulfatos, e nas águas continentais os valores são inferiores a 100 mg/L.

3.3.4 Fluoreto

Concentrações de fluoretos são determinadas na maioria das análises de água, mas as concentrações presentes nas águas naturais são pequenas, geralmente inferior a 1,0 mg/L, e apenas uma pequena porcentagem está contida na água do mar, sendo a maior parte originada de rochas contendo minerais de flúor (Hem, 1985). A fluorita (CaF_2) é o mineral de flúor mais comum, e tem uma solubilidade baixa, ocorre em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Apatita $\text{Ca}_5(\text{Cl},\text{F},\text{OH})(\text{PO}_4)_3$, anfibólios, como hornblenda, e algumas das micas também são outros minerais que comumente contêm flúor (Tabela 1).

Frequentemente ocorre com concentrações entre 0,1 e 1,5 mg/L nas águas naturais, podendo chegar às vezes até 10 mg/L e, dificilmente a 50 mg/L. Nas águas dos oceanos, seus valores estão situados entre 0,6 a 0,7 mg/L.

Os processos naturais do intemperismo, atuando sobre ocorrências e principalmente sobre os jazimentos de fluorita (CaF_2), mineral que apesar de não apresentar elevada solubilidade libera quantidades significativas de F^- para o ambiente, podem promover um enriquecimento no

conteúdo de flúor dos solos e das águas naturais superficiais e subterrâneas. Este fato é demonstrado pelos teores elevados de flúor nas águas do Rio Paraíba na região de Itabaiana e São Félix, Estado da Paraíba, que mostram teores de 0,6 a 0,8 ppm F⁻, dependendo do regime de chuvas (Sampaio, 1993).

Tabela 2 - Minerais que contem flúor em sua composição, concentração média de flúor e principal ocorrência (Deer *et al.*, 1997).

<i>Mineral</i>	<i>Ocorrência</i>	<i>Concentração média de flúor (%)</i>
Anfibólio (hornblenda)	Rocha ultrabásica	0,50
Anfibólio (oxi-hornblenda)	Latito	0,35
Anfibólio (eckermanita)	Nefelina-sienito	2,69
Anfibólio (pargasita)	Calcário metamorfizado	1,90
Biotita	Granito	0,85
Biotita	Quartzo-latito	1,11
Criolita (Na ₃ AlF ₆)	Filão e Granito	30
Cloroapatita	Quartzo-diorito	1,15
Esfeno	Areia da praia	0,67
Francolita (flúor-carbonatoapatita)	Lava alterada	5,60
Flogopita	Mármore	0,62
Apatita	Pegmatito granítico/Carbonatito	0,6-2,94/13
Fluorapatita	Veio hidrotermal	3,73
Fluorita (CaF ₂)	Veio e Granito	49
Hidroxi-fluorapatita	Piroxênio-granulito	1,63
Lepidolita	Pegmatito	6,85
Manganoapatita	Pegmatito	3,41
Muscovita rósea	Pegmatito	0,91
Topázio	Riolito e veio hidrotermal	13,23-20,37
Turmalina (schorlita e rubelita)	Pegmatito	0,98

A determinação do conteúdo de flúor em levantamentos hidrogeoquímicos com a elaboração de mapas geoquímicos tem aplicação imediata em investigações de saúde pública, pois eles são capazes de identificar regiões com teores altos, que possam produzir fluorese dentária e/ou

óssea, de natureza endêmica nas populações que se abastecem da água *in natura* desses mananciais, como destacado por Licht (2001), que encontrou no Paraná teores que alcançam 0,98 mg/L F⁻ na água de bacias hidrográficas, e estão próximos da dose limite para ingestão continuada por seres humanos, estabelecida em 1,4 mg/L F⁻ pela Resolução n° 357 (CONAMA, 17/03/2005).

3.3.5 Fosfato

O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e ao crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e na forma de fosfatos dissolvidos é um importante nutriente para produtores primários. Também pode ser o fator limitante da produtividade primária de um curso d'água.

Segundo *Water Quality Criteria* (1976), algumas das origens dos fosfatos em águas são: a) constituintes de detergentes, aparecendo em produtos de limpeza e enriquecendo as águas residuais urbanas; b) constituintes de fertilizantes, que são levados pelas chuvas até cursos d'água ou em resíduos não tratados de indústrias de fertilizantes; c) presentes em sedimentos de fundo e lodos biológicos, na forma de precipitados químicos inorgânicos.

Segundo Mathess & Harvey (1982), devido a ação de microrganismos, a concentração de fosfato deve ser baixa (< 0,5 mg/L) em águas naturais. A concentração varia geralmente entre 0,01 e 1 mg/L, podendo chegar a 10 mg/L (Custódio & Llamas, 1983). Valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas.

3.3.6 Formas Nitrogenadas

Os compostos de nitrogênio são de grande importância nos processos vitais de todas as plantas e animais. Segundo Von Sperling (1995), as principais características dos compostos nitrogenados são: a) a indispensabilidade ao crescimento de vegetais e organismos em geral, pois é utilizado para a síntese de aminoácidos; b) os processos bioquímicos de oxidação do amônio ao nitrito e deste para nitrato implicando no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática quando a oxigenação do ambiente é menor que o consumo de oxigênio por

esses processos; c) a identificação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição.

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, alternam-se várias formas e estados de oxidação. O ciclo do nitrogênio é dominado pelos processos biológicos, que transformam o nitrogênio (N_2) em compostos orgânicos nitrogenados, como amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), aminoácidos e proteínas. A conversão do íon amônio em nitrato é fundamental para o desenvolvimento vegetal, já que as plantas são capazes de absorver nitrato, mas não o amônio ou a amônia.

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2), escapando para a atmosfera; nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); nitrogênio amoniacal, como amônia (NH_3) e o íon amônio (NH_4^+); nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (APHA *et al.*, 1995).

Nitrato

Ocorre geralmente em pequeno teor. É muito móvel e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água (Bower, 1978). As águas continentais apresentam teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém em águas muito poluídas os teores podem chegar a 1000 mg/L. A água do mar possui em torno de 1 mg/L (Custódio e Llamas, 1983).

O nitrato representa o estágio final de oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação de águas continentais por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais) (Custódio e Llamas, 1983), já que a ocupação e o uso do solo pelo homem são capazes de provocar intensos impactos geoquímicos ambientais, pela produção de resíduos orgânicos, onde são aplicadas grandes quantidades de produtos químicos e orgânicos nitrogenados para a fertilização do solo (UNEP, 2000).

Entretanto, como o nitrato é muito solúvel em água, é facilmente lixiviado, o que impede a formação de um estoque de nitrato nos solos (O'Neill, 1993). Ainda que a aplicação de nitrato seja drasticamente reduzida, altas concentrações de NO_3^- continuarão a serem medidas por 10 a 20 anos, antes que um decréscimo notável seja observado (UNEP, 2000).

Alguns casos de intoxicação por nitrato observados são citados por Teixeira (1999), onde, numa região do norte da França, uma indústria que explorava um lençol hidrotermal para a

produção de água mineral, ao logo de uma década de atividade, não percebeu o aumento das concentrações de nitrato, provenientes da superfície de intensa atividade agrícola.

O risco associado aos teores elevados de nitrato relaciona-se pela possibilidade de transformação dos nitratos no organismo, em nitrosaminas no sistema digestivo humano, às quais é atribuído um efeito carcinogênico.

Nitrito

O nitrogênio na forma de nitrito é o estado intermediário entre amônio e nitrato, sendo também considerado um nutriente. Em baixas concentrações de oxigênio, pode haver redução do nitrato (denitrificação parcial), elevando as concentrações de nitrito. Altas concentrações de nitrito podem significar uma grande atividade bacteriana e carência de oxigênio (Baumgarten & Pozza, 2001).

O nitrito é encontrado em águas superficiais em pequena quantidade. Devido a sua instabilidade na presença de oxigênio, a presença desse íon em águas continentais pode ser indicativa de poluição recente, e processo biológico ativo geralmente considerado como indicadores de poluição por despejo de esgoto ou resíduos orgânicos (Hem, 1985).

3.4 Razão Iônica rCl/rBr

O estudo das razões iônicas é importante na interpretação hidroquímica das águas continentais. São as relações entre os íons dissolvidos em água. Estas razões podem indicar a ocorrência de fenômenos modificadores ou característica específica da água considerada. As razões iônicas são representadas com valores expressos em meq/L, usado com o símbolo (r) ou $r.i.$

A razão rCl/rBr pode ser usada como um traçador confiável, pois Cl^- e Br^- são considerados conservativos (isto é, não reagem com os constituintes das águas continentais), exceto na presença de grande quantidade de matéria orgânica.

De acordo com a razão rCl/rBr podem ser obtidas informações sobre a salinização das águas. Em águas de recarga não afetadas em zonas costeiras, os valores de razão iônica ($r.i.$) são

similares aos da água do mar ($r.i. = 655 \pm 4$); em zonas interiores $r.i.$ fica entre 300-500; em áreas de altitude elevada, $r.i.$ varia entre 200-500; e valores de $r.i.$ podem ser superiores aos da água do mar em zonas costeiras urbanas, pois o efeito urbano e industrial por incorporação de águas usadas ou lixiviadas de resíduos aumentam o valor de $r.i.$ acima de 1000 (Alcalá & Custodio, 2008).

3.5 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um instrumento de integração de dados espaciais. Estes, por sua vez, correspondem a representações de fatos e comportamentos que acontecem sobre a superfície terrestre (Silva, 2003). Segundo este autor, o principal critério para a definição de SIG é sua capacidade de transformar e integrar dados espaciais e, segundo Paredes (1994), o bom emprego desta tecnologia implica dados georreferenciados, os quais são armazenados constituindo um banco de dados, o que permite a manipulação e análise espacial.

Segundo Blitch & Lacerda (2005), a correlação de informações acerca de características da água pode ser realizada utilizando-se Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) na implementação e interpretação de informações, colaborando para um diagnóstico ambiental mais preciso, mais rápido e de menor custo. Weber *et al.* (1998) demonstram que o SIG é uma tecnologia fundamental de apoio a qualquer projeto que pretenda discutir e tentar solucionar problemas ambientais relacionados a bacias hidrográficas.

Macedo *et al.* (2010), em estudos sobre caracterização fisiográfica de sub-bacia, afirmam que as informações geradas podem ser relacionadas com a realidade, através da confecção de mapas temáticos nas localidades avaliadas, servindo como auxílio para gestores das sub-bacias na tomada de decisões futuras. Korman *et al.* (2011) destaca a importância da utilização de técnicas de geoprocessamento na realização de estudos em bacias hidrográficas como forma de obter informações indispensáveis ao planejamento e gestão de unidade territorial, como o caso de microbacia e o uso de *software* como o ArcGIS 9.3.

A delimitação de bacias hidrográficas pode ser realizada de forma manual ou automática, de acordo com o método adotado e a finalidade do trabalho.

O levantamento de campo pode ser considerado como método mais preciso, entretanto, por apresentar maiores custo e tempo para execução quando comparado à utilização de técnicas de geoprocessamento, a automatização da delimitação de bacias torna-se vantajosa em relação ao

custo/benefício proporcionado, além de estabelecer a padronização do traçado e minimizar conflitos quanto ao planejamento e monitoramento de bacias. (Oliveira & Rodrigues, 2008; Blitch & Lacerda, 2005).

Neste trabalho a delimitação automática de bacias de drenagem, com o uso de ferramentas de geoprocessamento foi a escolha adotada, pois tal técnica tem mostrado resultados satisfatórios (Medeiros *et al.*, 2009) e atende toda a área de estudo.

O uso do SIG permitiu a elaboração de um banco de dados integrado, auxiliando na interpretação dos resultados. Nesse banco de dados estão inclusos a localização dos pontos de coleta de água, coordenadas geográficas, nome do curso d'água, informações a respeito do trecho do corpo d'água amostrado, limites municipais e as respostas das análises químicas sobre as concentrações dos ânions e parâmetros físico-químicos estudados.

3.5.1. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

O MDE pode ser considerado como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço. Modelar digitalmente uma superfície significa representá-la por meio de um método ou modelo matemático a partir de dados de altitude. Modelos Digitais de Elevação (MDE), que podem ser obtidos por meio de vetorização e interpolação de curvas de nível, através de dados aéreos e orbitais, são elementos fundamentais para a delimitação automática de bacias hidrográficas (Medeiros *et al.* 2009).

Assim considera-se que os MDE são representações de dados topográficos passíveis de tratamento em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e o processamento destes dados em SIG permite a caracterização do estado e de processos do sistema terrestre em abordagem espacializada (Valeriano & Rosseti, 2010).

Os MDE foram utilizados para delimitação da rede de drenagem (obtenção de arquivos que representam os rios), hierarquia dos canais de acordo com Strahler (1952), delimitação das bacias/microbacias, e na elaboração de imagens contendo os limites municipais, a rede de drenagem e os dados das concentrações dos parâmetros e ânions estudados.

Os dados iniciais que deram origem aos MDE são dados de radar, obtidos no projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), em uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI), e essa tomada de dados em cobertura global pela SRTM representa uma oferta até então inédita de MDE, com dados numéricos de

relevo e da topografia do Brasil. Nesses dados SRTM, para cada área de 90 metros por 90 metros do território nacional, tem-se uma medida altimétrica precisa (Embrapa Brasil em Relevo).

O projeto TOPODATA adquiriu os dados brutos do SRTM e realizou um cuidadoso trabalho de correção e padronização, eliminando possíveis falhas, distorções e sombras. Esses dados foram submetidos a um tratamento matemático por meio de modelos que possibilitam reconstituir o relevo do país, como em cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea. Os procedimentos e métodos adotados pelo TOPODATA possibilitam que esta tecnologia seja aplicada a programas de manejo de bacias hidrográficas, gestão de recursos hídricos e monitoramento ambiental. Especificações do MDE, tais como resolução, precisão/exatidão e outros mais, podem causar mais variações nos resultados do que as características do próprio relevo, o que faz da preparação de MDE mais do que uma formalidade computacional para atendimento de fluxos (Valeriano & Rosseti, 2010). Esses autores descrevem que no caso de MDE oriundo de sensoriamento remoto, como é o caso de dados SRTM, trazem consigo limitações intrínsecas devido a uma série de fatores que atuam ao longo de todo o fluxo da informação.

Valeriano & Rosseti (2010), após refinamento dos MDEs, concluíram que os terrenos de baixa amplitude, baixa declividade e feições delicadas têm MDEs mais afetados pelos métodos de refinamento, enquanto terrenos montanhosos mostraram MDE relativamente mais estáveis.

As primeiras ressalvas a respeito dos dados SRTM disponibilizados para a América do Sul (Valeriano, 2004) indicam que estes apresentam fortes restrições à sua derivação na sua forma original, entretanto tomados os devidos cuidados nas etapas de pré-processamento permitem a utilização com algum desempenho satisfatório. Os dados originais de SRTM correspondem a 3'' (ou aproximadamente 90 metros), e a modificação nas etapas de pré-processamento, antes da utilização dos dados de radar, com algum refinamento espacial é normalmente realizado com algum processo de interpolação, em que se calculam valores de células (*pixels*) intermediários aos valores de entrada.

No capítulo 5 é realizada a descrição da elaboração da base de dados e espacialização dos resultados obtidos neste trabalho em ambiente SIG, com a utilização de MDE, que serviram para delimitar com maior precisão a área de influência das concentrações dos parâmetros analisados, bem como as ferramentas utilizadas para tal.

3.6 Recursos Hídricos

O conceito de “recurso hídrico” envolve a consideração da água como um recurso natural renovável, porém limitado (ANA, 2009), que compreende conceitos de disponibilidade, acessibilidade e qualidade (MMA, 2006a).

O marco legal na gestão dos recursos hídricos no Brasil é, até os dias de hoje, o Código de Águas, estabelecido em 1934 pelo Decreto Federal nº 24.643, modificado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, prevista na Constituição de 1988 e estabelecida pela Lei nº 9.433 em janeiro de 1997. Essa lei representou na verdade um reflexo da projeção mundial de cenários desastrosos em relação à disponibilidade de água doce suficiente para abastecer as futuras gerações.

No artigo 1º da Lei das Águas, são estabelecidos seus princípios básicos: (1) a adoção da bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento, (2) o uso múltiplo das águas, (3) o reconhecimento da água como um bem natural limitado, (4) o reconhecimento do valor econômico da água e (5) a gestão descentralizada e participativa. No artigo 5º estabelecem-se instrumentos para viabilizar a aplicação dos princípios da lei. São eles: (1) Plano Nacional de Recursos Hídricos, (2) outorga de direito de uso dos recursos hídricos, (3) cobrança pelo uso da água, (4) enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e (5) Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

Pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNGRH, também criado pela Lei das Águas, fica estabelecido um arranjo institucional claro, baseado em uma gestão compartilhada do uso da água. São os seguintes organismos que integram o sistema: (1) Conselho Nacional de Recursos Hídricos, (2) Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados; (3) Comitês de Bacia Hidrográfica, (4) Agências da Água e (5) órgãos dos poderes públicos, cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos (Francisco & Carvalho, 2004).

4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização da Área de Estudo

A área estudada abrange todo o Estado do Rio de Janeiro (Fig. 2), situado na Região Sudeste do Brasil, compreendido entre as latitudes $20^{\circ} 45' 56''$ S, $23^{\circ} 22' 08''$ S e longitudes $40^{\circ} 57' 23''$ W, $44^{\circ} 53' 19''$ W (Davis & Naghettini, 2000).

O estado possui uma área geográfica com cerca de 43.780 km^2 , e está dividido em 92 municípios, apresentando uma população de 15,9 milhões de habitantes, com densidade demográfica de 365,23 hab/km (IBGE, 2011).

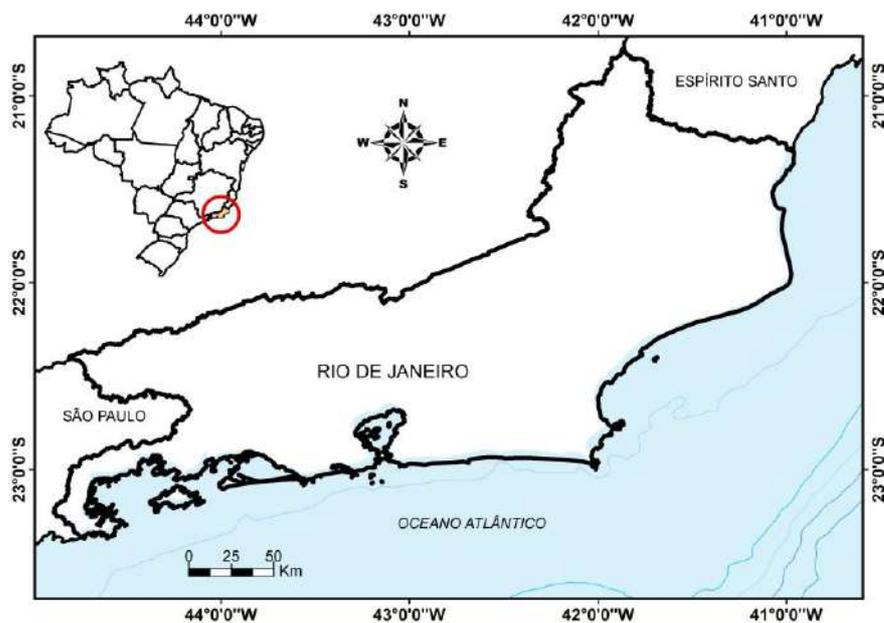


Figura 2 – Localização da área de estudo. (Fonte IBGE))

4.2 Aspectos fisiográficos

4.2.1 Clima

O Estado do Rio de Janeiro encontra-se em sua maior parte na faixa de clima Tropical Brasil Central (IBGE, 2010) (Fig.3 e 4).



Figura 3 – Climas Zonais do Brasil. (Fonte: IBGE)

Determinada pelos fatores dinâmicos e estáticos, nenhuma região brasileira apresenta uma distribuição espacial de precipitações pluviométricas tão diferenciadas quanto a Região Sudeste. O volume da precipitação anual em cada local exprime muito bem essa característica. Dois fatores estáticos devem ser destacados: a posição latitudinal e a localização na borda do oceano. (IBGE, 2010)

A posição tropical e a proximidade da superfície oceânica, com o conseqüente processo de radiação e evaporação intensas, não explicam por si só a elevada pluviosidade do sudeste brasileiro e, em particular, do estado do Rio de Janeiro. Esses fatores criam apenas pré-condições à precipitação que, associados aos fatores dinâmicos, determinam os elevados índices pluviométricos da região.

A localização do estado do Rio de Janeiro na borda oriental da América do Sul, na zona tropical, sob a trajetória preferida das correntes perturbadas, assegura-lhe boa frequência de chuvas ao longo do ano.

O paralelismo das escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira, opondo-se frontalmente à direção dos ventos das correntes de circulação atmosférica perturbada, representada, sobretudo pelas discontinuidades polares, exerce uma sensível influência nesse caso: as precipitações pluviométricas crescem na proporção direta da altitude.

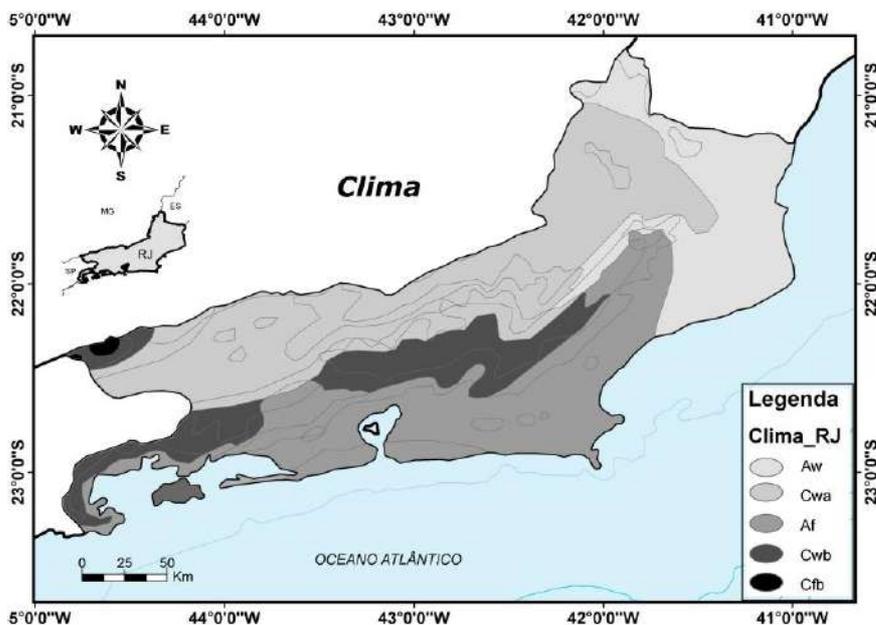


Figura 4 – Mapa de clima do Estado do Rio de Janeiro, elaborado a partir de dados vetoriais do IBGE.

Com clima subtropical de altitude (Cwb), com inverno seco e verão ameno e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C (Ventura, 1964), as serras do Mar e da Mantiqueira são bem mais pluviosas que o litoral e o vale do Paraíba do Sul. Nenhuma outra serra do território nacional exerce tanta influência no sentido do acréscimo de precipitações quanto elas. Nas situações de chuvas generalizadas por toda a região, quase sempre os índices mais elevados se dão nas referidas serras. Enquanto os níveis mais elevados da Mantiqueira recebem em média entre 2000 a 2500 mm de chuva durante o ano, a Serra do Mar acolhe de 2000 a 4500 mm.

Em contraste, aparece o Vale do Paraíba, de clima subtropical (Cwa) de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C (Golfari *et al.*, 1978). A subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar e a dessecação adiabática tornam essa depressão topográfica bem menos úmida e chuvosa. Aí, a pluviometria anual varia de 750 a 1000 mm.

Outra área igualmente menos chuvosa é a Baixada Litorânea, com clima tropical úmido ou superúmido (Af) sem estação seca e a temperatura nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) é de 24 a 25°C (Golfari *et al.*, 1978). Seu trecho do Espírito Santo à lagoa de Araruama, no estado do Rio de Janeiro, apresenta as mais baixas taxas de precipitação, inferiores a 1.000mm.

No nordeste do estado predomina clima tropical (Aw) com inverno seco (julho é o mês mais seco), estação chuvosa no verão (de novembro a abril), com as precipitações superiores a 750mm anuais, atingindo 1800 mm (Ventura, 1964 e Golfari *et al.*, 1978).

Ainda segundo Ventura (1964) e Goldfari *et al.* (1978), na região da Serra do Itatiaia há o predomínio de clima temperado (Cfb), com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e com precipitação de 1100 a 2000 mm, com possíveis geadas no mês mais frio.

A seguir, são mostrados os gráficos com informações sobre as precipitações registradas no mês de Janeiro de 2011 (período de trabalhos de campo), em cinco estações de monitoramento pluviométrico segundo o INMET, para o Estado do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Campos, Itaperuna, Cordeiro e Resende (Fig. 4 a 8). Tal distribuição de chuvas influenciou sobremaneira os resultados físico-químicos obtidos no presente trabalho em águas fluviais, que pode ser observada nos resultados apresentados no Capítulo 6 – Resultados.

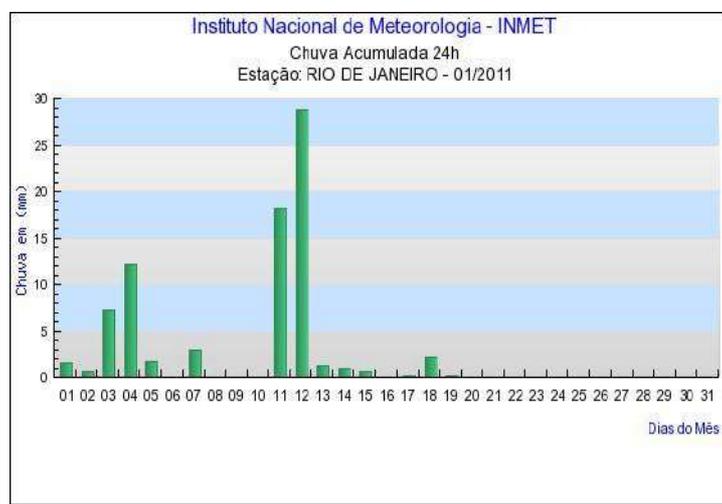


Figura 4 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município do Rio de Janeiro. (Fonte: INMET)

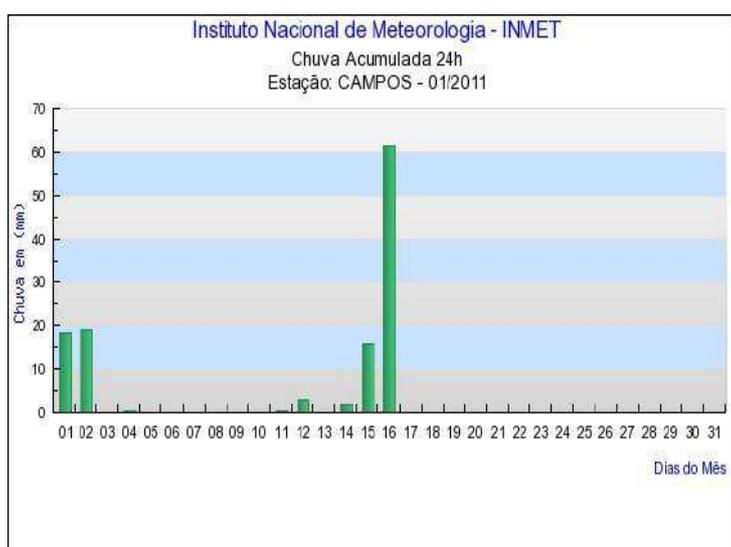


Figura 5 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Campos dos Goytacazes. (Fonte: INMET)

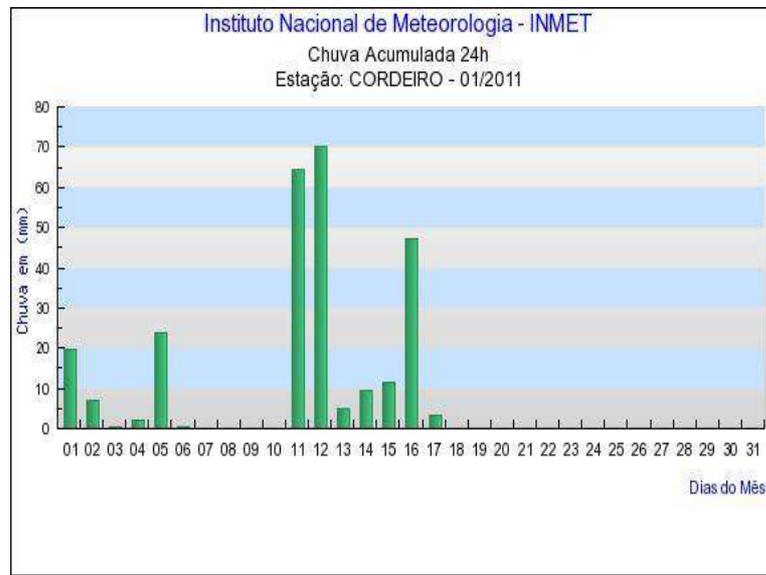


Figura 6 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Cordeiro. (Fonte: INMET).

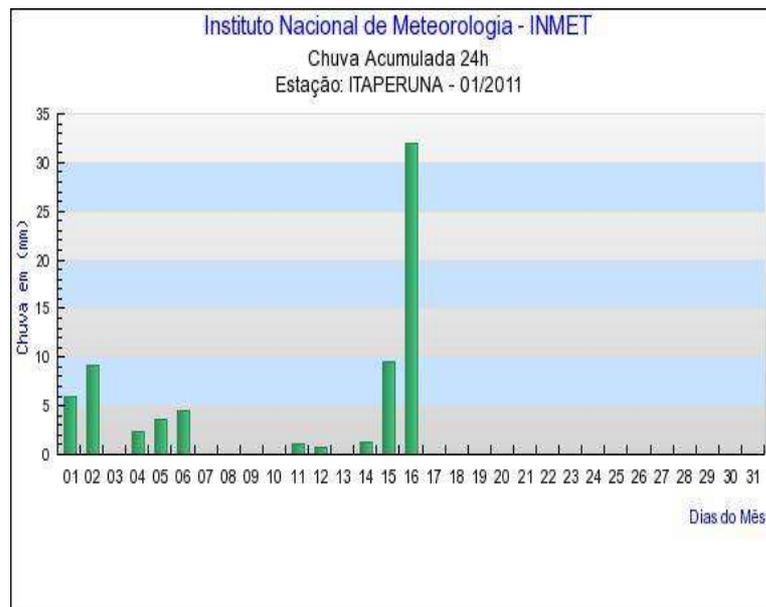


Figura 7 - Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Itaperuna. (Fonte: INMET).

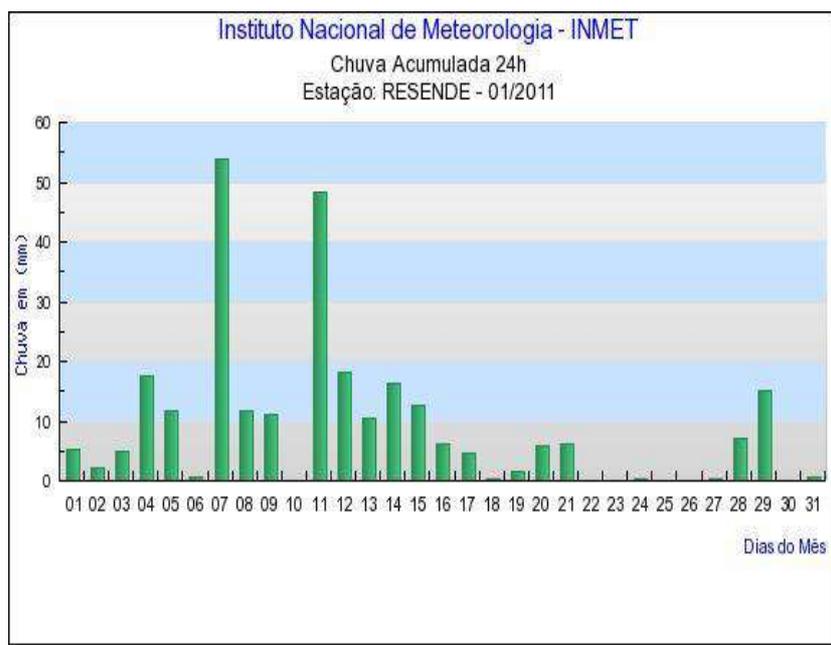


Figura 8 —Gráfico com os dados de precipitação para o mês de Janeiro de 2011, registrado no município de Resende. (Fonte: INMET).

4.2.2 Vegetação

O Brasil é um país considerado florestal, com aproximadamente 516 milhões de hectares (60,7% do seu território) de florestas naturais e plantadas, sendo um dos países de maior área de florestas do mundo (MMA, 2010). A Tabela 2 contém informações acerca das Áreas de Florestas no Brasil com dados de 2009.

Tabela 3 - Áreas florestadas no Brasil (extraído de MMA, 2010).

Tipo de Floresta	Área total (em ha)	% das Florestas	% da área do Brasil
Florestas Naturais	509.803.545	98,7	59,9
Florestas Plantadas	6.782.500	1,3	0,8
Total	516.586.045	100	60,7

A vegetação do estado do Rio de Janeiro apresenta grande diversidade devida à configuração de seu relevo e de fatores climáticos. Sendo assim, encontra-se distribuída pelo território fluminense, conforme se segue (Davis & Naghettini, 2000):

- *Região da floresta ombrófila densa*

Também conhecida como Floresta Tropical Pluvial, esse tipo de vegetação é característica das regiões altas da serra do Mar, cujos representantes são os Parques Nacionais da Serra dos Órgãos e da Bocaina e o Parque Estadual da Ilha Grande.

- *Região da floresta ombrófila mista*

Compõe a floresta pluvial subtropical. Possui representantes da floresta tropical amazônica e da flora australásica, caracterizados pelos planaltos da Bocaina e do Itatiaia (em altitudes de mais de 800m).

- *Região da floresta estacional semidecidual*

Área com mais de 60 dias secos. Cobre a região do médio Paraíba até a do Norte Fluminense.

- *Região da savana (cerrado)*

Restringe-se a uma pequena área do município de Resende, hoje substituída por pastagens.

- *Região da estepe (caatinga)*

Vegetação constituída por plantas cactáceas e espinhosas. Localiza-se nos maciços costeiros próximos a Cabo Frio e Arraial do Cabo.

- *Formações pioneiras*

Referem-se às vegetações concentradas em áreas cujos solos estão submetidos às influências marinha, fluvial e fluviomarina. Seus principais representantes são as restingas, os mangues e demais ambientes com acúmulo d'água e sujeitos a inundações periódicas.

No território fluminense, as restingas ocupam trechos do litoral desde a Marambaia, a oeste do município do Rio de Janeiro, até o norte do estado. Já os manguezais se situam no entorno das baías de Guanabara e de Sepetiba.

4.2.3 Geomorfologia

O estado do Rio de Janeiro apresenta um relevo bastante acidentado. A diversificação do panorama geomorfológico do estado do Rio de Janeiro pode ser entendida através da interação entre aspectos tectônicos e climáticos, que esculpiram sua atual morfologia.

O estado do Rio de Janeiro está compartimentado em duas unidades morfoestruturais: o Cinturão Orogênico do Atlântico e as Bacias Sedimentares Cenozóicas (Dantas, 2000).

O Cinturão Orogênico do Atlântico está subdividido em sete unidades morfoesculturais: Maciços Costeiros e Interiores; Maciços Alcalinos Intrusivos; Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas; Escarpas Serranas; Planaltos Residuais; Depressões Interplanálticas; Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos Escalonados (Dantas, 2000).

As Bacias Sedimentares Cenozóicas estão subdivididas em três unidades morfoesculturais: Tabuleiros de Bacias Sedimentares; Planícies Fluvio-marinhas (Baixadas); Planícies Costeiras. Correspondem a rochas sedimentares, pouco litificadas, de idade eoceno-zóica, e sedimentos inconsolidados, neoceno-zóicos (Dantas, 2000).

No sentido sudoeste-nordeste, de maneira aproximada, sucedem-se em faixas estreitas os componentes principais do quadro morfológico do estado: as bacias e baixadas, os maciços litorâneos e alcalinos, e o planalto (Dantas, 2000) - Fig. 9 e 10.

As baixadas estão inseridas no domínio morfoescultural de Planícies Flúvio-Marinhas e são planas, apenas entalhadas pelos rios onde as rochas do cristalino se acham decompostas. Incluem: Baixadas da Baía da Ilha Grande; Baixadas das Baías de Guanabara e Sepetiba; Baixada de Jacarepaguá; Baixada do Rio São João; Baixada do Rio Macaé; Baixada do Rio Macabu; Baixada do Rio Imbé; Baixada Campista; e a Baixada do Rio Itabapoana. As bacias estão inseridas no domínio morfoescultural de Tabuleiros de Bacias Sedimentares Cenozóicas, e incluem as bacias de Resende, Volta Redonda, Macacu, e os tabuleiros de Quissamã e São Francisco de Itabapoana.

Os maciços litorâneos pertencem ao domínio morfoescultural de Maciços Costeiros e Interiores, enquanto os maciços alcalinos pertencem ao domínio de Maciços Alcalinos Intrusivos. Esses maciços litorâneos estendem-se desde Cabo Frio até a porção oriental da Baía de Guanabara em meio à Baixada Fluminense, formando um alinhamento com 200 a 500m de altitude.

Os planaltos e as escarpas associadas ocupam grande parte do território e seu rebordo oriental é formado pela Serra do Mar, que atravessa o estado do Rio de Janeiro acompanhando o

seu litoral. A Serra do Mar é um conjunto de escarpas com cerca de 1.000 km de extensão, em que termina o Planalto Atlântico no trecho voltado para a Bacia de Santos. Ela se estende do Rio de Janeiro ao norte de Santa Catarina, onde deixa de existir como unidade orográfica de borda escarpada de planalto (Almeida & Carneiro, 1998). Esse sistema de montanhas recebe diferentes denominações, como Serra da Bocaina, ao sul do estado, Serra da Estrela e Serra dos Órgãos, ao fundo da baía de Guanabara. Na Serra dos Órgãos, as elevações chegam a mais de 1.000m. O planalto encontra-se separado no domínio morfoescultural de Planaltos Residuais e decai suavemente para o interior até o vale do rio Paraíba do Sul.

A Serra do Mar, incluso no domínio morfoescultural de Escarpas Serranas, atravessa longitudinalmente o estado do Rio de Janeiro, e assim como os planaltos, são os grandes divisores de águas do estado e separam a drenagem natural em duas principais vertentes: a do Rio Paraíba do Sul e a Vertente Atlântica (Francisco & Carvalho, 2004).

A Vertente Atlântica corresponde a 40% do território fluminense e concentra cerca de 80% da população do estado. Como o divisor de águas está próximo ao litoral, não há a formação de uma grande bacia hidrográfica, mas sim a ocorrência de dezenas de bacias, com dimensões variadas, que nascem na Serra do Mar e deságuam nas lagoas costeiras, baías ou diretamente no Oceano Atlântico. Em geral, estas bacias apresentam uma grande amplitude altimétrica e canal de drenagem de pequena extensão, gerando uma rápida quebra de declive quando os canais alcançam as planícies costeiras, predominantemente, de pequenas extensões (Francisco & Carvalho, 2004).

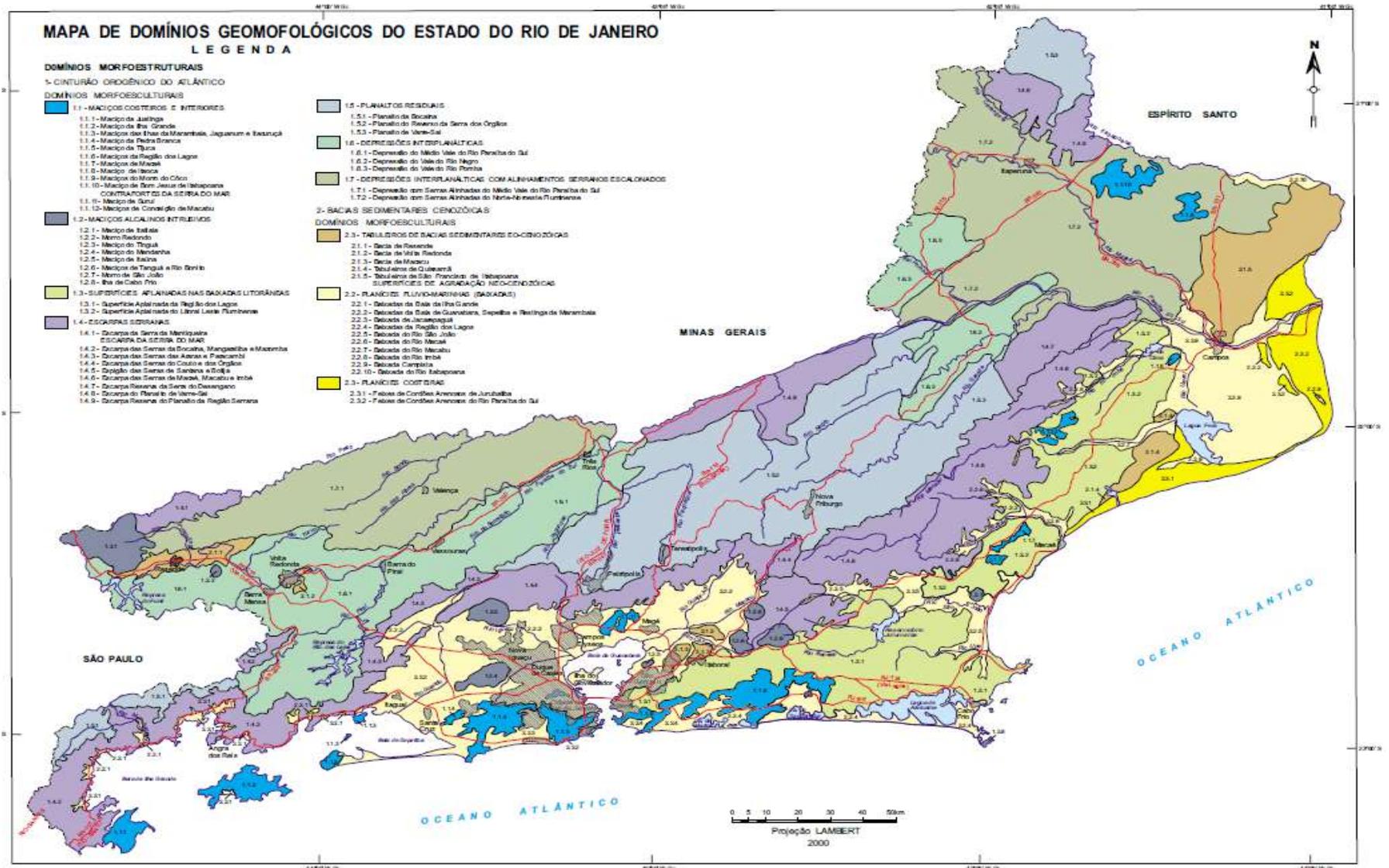


Figura 9 - Mapa geomorfológico do Estado do rio de Janeiro (Fonte: Dantas, 2000).

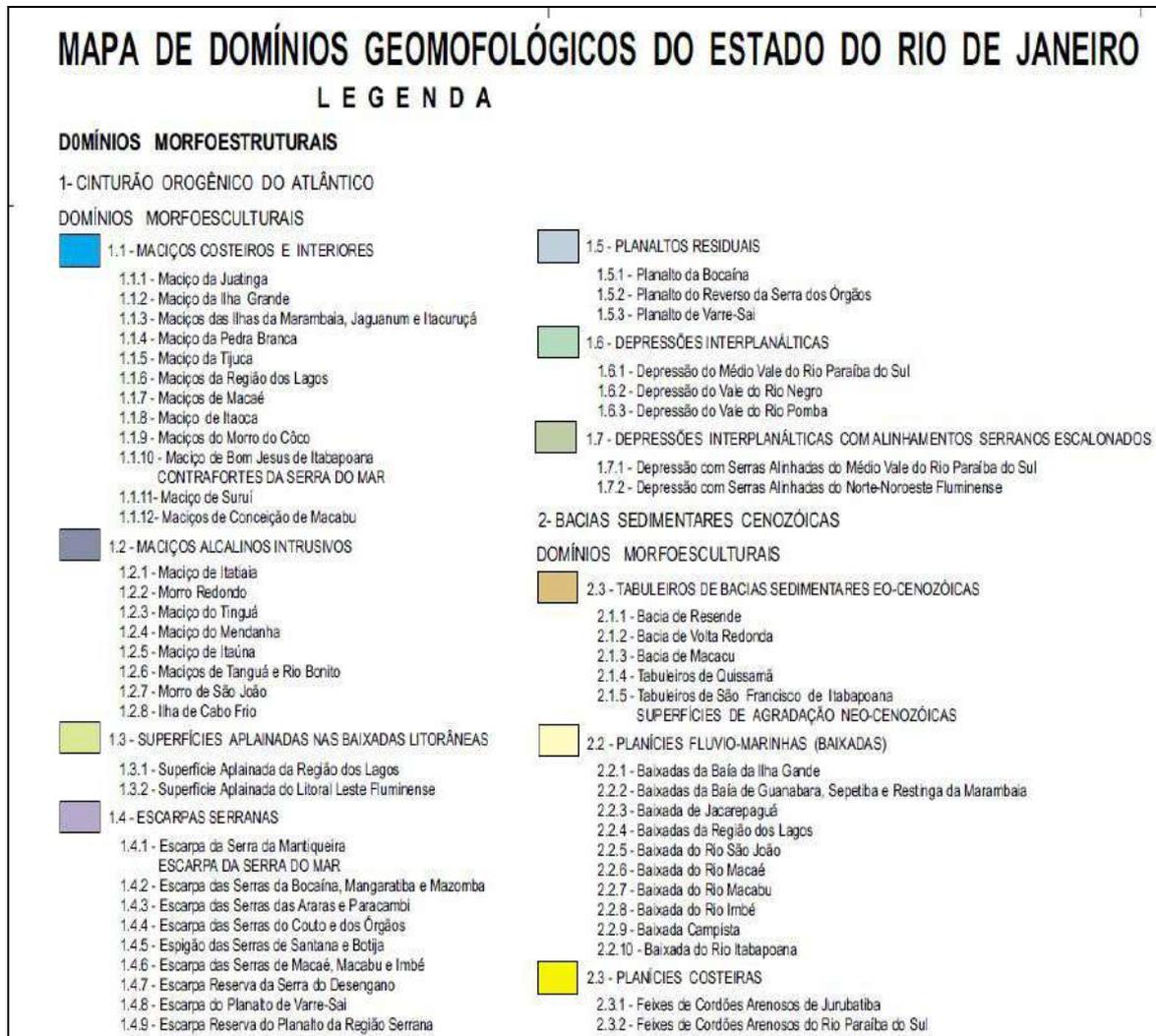


Figura 10 - Legenda do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Dantas, 2000).

4.2.4 Solos

O Estado do Rio de Janeiro apresenta oito principais tipos de solo (EMBRAPA, 2009)- Fig. 11): Argissolo Amarelo (PA) presente no NE do estado; Argissolo Vermelho-Amarelado (PVA) com ocorrência no NW do estado, na região metropolitana e baixada; Argissolo Vermelho (PV); Cambissolo Háplico (CX) no S/SE; Espodossolo Ferrilúvico (ES) e Gleissolo Háplico (GX) nos arredores da Lagoa Feia e no município de Campos dos Goytacazes; Planossolo Háplico (SX) na

região costeira lagunar; Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) na região serrana, no sul e norte do estado.

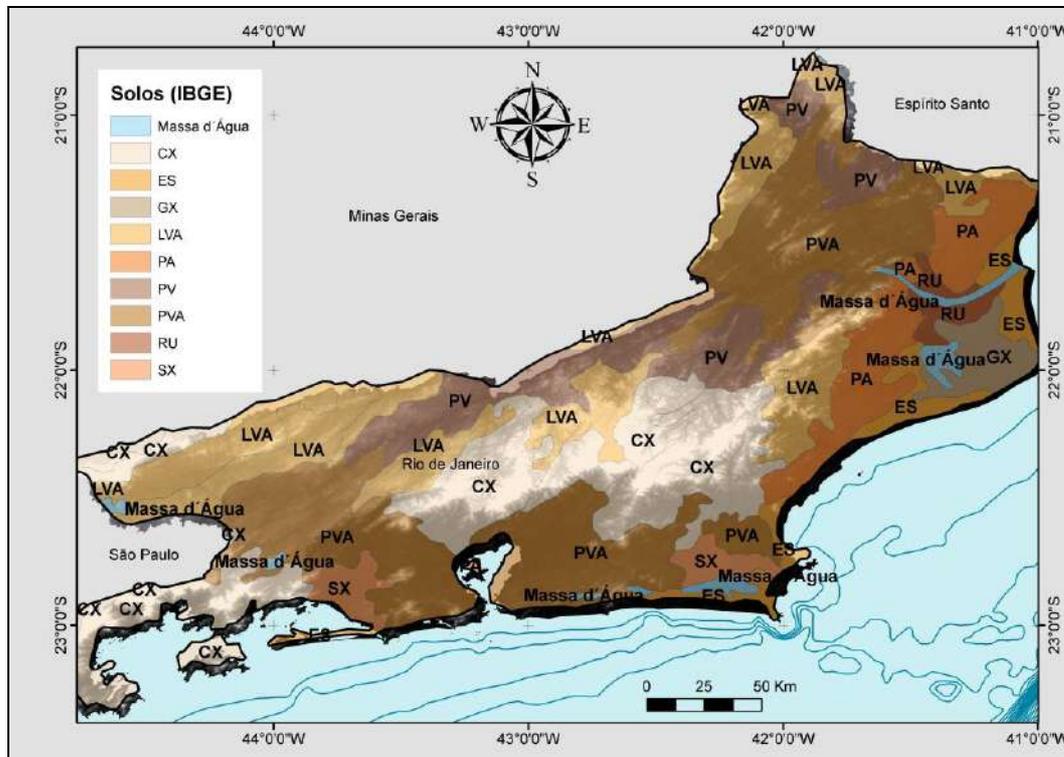


Figura 11 - Mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro (a partir de dados vetoriais do IBGE, 2011).
Legenda no texto.

Latossolos

Definidos pela Embrapa (2009) como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, com aumento de teor de argila de A para B. São solos com avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de transformações no material constitutivo.

Argissolos

Trata-se de solos constituídos de material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de algum tipo de horizonte superficial. Grande parte dos solos desta classe apresenta forte incremento de teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. São de profundidade variável, desde fortemente a imperfeitamente drenados e com variáveis conteúdos de Fe_2O_3 . Inclui os subtipos: Argissolo

Amarelo (PA), em geral profundos e bem drenados, com baixo teor de Fe_2O_3 , bastante utilizados para pastagens e em áreas com culturas de cana-de-açúcar, abacaxi e maracujá; Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) mais rasos, bem drenados, com teor de ferro mais elevado que PA, são pouco utilizados para agricultura, sendo o usado pra o cultivo de pastagem; e Argissolo Vermelho (PV), com os maiores teores de ferro da classe, são utilizados para pastagem e agricultura (Filho *et al.*, 2000).

Cambissolos

Definidos pela Embrapa (2009) como classe de solos constituída de material mineral, com horizonte B, incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, tem sequência de horizontes A ou hístico, Bi. Alguns solos desta classe possuem características morfológicas similares às dos solos da classe Latossolos, mas distinguem-se destes por apresentarem, no horizonte B, características não compatíveis com solos muito evoluídos. O Cambissolo Háptico, caracteriza-se, no estado, por teores de ferro compreendidos entre 18% e 36%, sendo o tipo dominante nas regiões serranas. Originalmente sob floresta perenifólia, encontram-se atualmente quase destituídos de sua vegetação original, por serem utilizados principalmente nos plantios de cana-de-açúcar (Filho *et al.*, 2000)

Espodossolos

Compreende solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico imediatamente abaixo de horizonte eluvial E ou horizonte A. Apresentam, usualmente, sequência de horizontes A, E, B espódico, C (Embrapa, 2009). São solos, em geral, muito pobres em fertilidade, moderado a fortemente ácidos. Segundo Filho *et al.* (2000) estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos em faixas subparalelas ao longo da costa, com destaque para a região do delta do Paraíba. Em geral estão associados a ambientes de restingas. O Espodossolo Ferrilúvico, que ocorre no estado, é caracterizado com acumulação principal de ferro, utilizados, principalmente, com pastagem natural de baixa qualidade, além de pequenos plantios de coco.

Gleissolos

Compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei, abaixo de horizontes A ou E, ausência de horizonte B textural. Os solos dessa classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados (Embrapa, 2009). Geralmente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água, em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também materiais residuais em áreas abaciadas e depressões (Filho *et al.*, 2000). O Gleissolo Háptico, que ocorre no estado, caracteriza-se por horizonte superficial pouco desenvolvido e ,atualmente, são utilizados principalmente com pastagens e alguma cultura de hortaliças.

Planossolos

Definidos pela Embrapa (2009) como grupamento de solos minerais com horizonte B plânico, subjacente a algum tipo de horizonte A, apresentando ou não horizonte E sem mudança textural abrupta do A para o B. Segundo Filho *et al* (2000) o Planossolo Háptico, ocorre principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea, e predominam de baixa fertilidade.

4.2.5. Uso e Cobertura do Solo

No Estado do Rio de Janeiro, segundo Jacques & Shinzato (2000), as seguintes classes de uso e cobertura do solo foram identificadas: Pastagem, Mata, Áreas Urbanas, Solo Exposto, Áreas Agrícolas, Corpos d'Água, Afloramentos de Rocha, Vegetação de Restinga, Campo Inundável, Manguezal, Coberturas Arenosas, Salinas e Extração de Areia. A área ocupada por cada um deles é descrita na Tabela 4 e a distribuição no Rio de Janeiro é mostrada nas Figuras 11 a 16.

Tabela 4 – Área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo (Jacques & Shinzato, 2000).

Classes	Área Absoluta (km ²)	% relativa e a Área total do Estado
Pastagem	24.750	56,10
Mata	12.532	28,38
Áreas Urbanas	1.676	3,81
Solo Exposto	1.216	2,76
Áreas Agrícolas	1.037	2,35
Vegetação de Restinga	757	1,72
Corpos d'Água	752	1,70
Afloramento de Rocha	326	0,74
Campo Inundável	255	0,58
Manguezal	131	0,30
Coberturas Arenosas (Praias ou Dunas)	97	0,22
Salinas	27	0,06
Extração de Areia	2	0,005
Outros	527	1,27
TOTAL	44.085	100,00

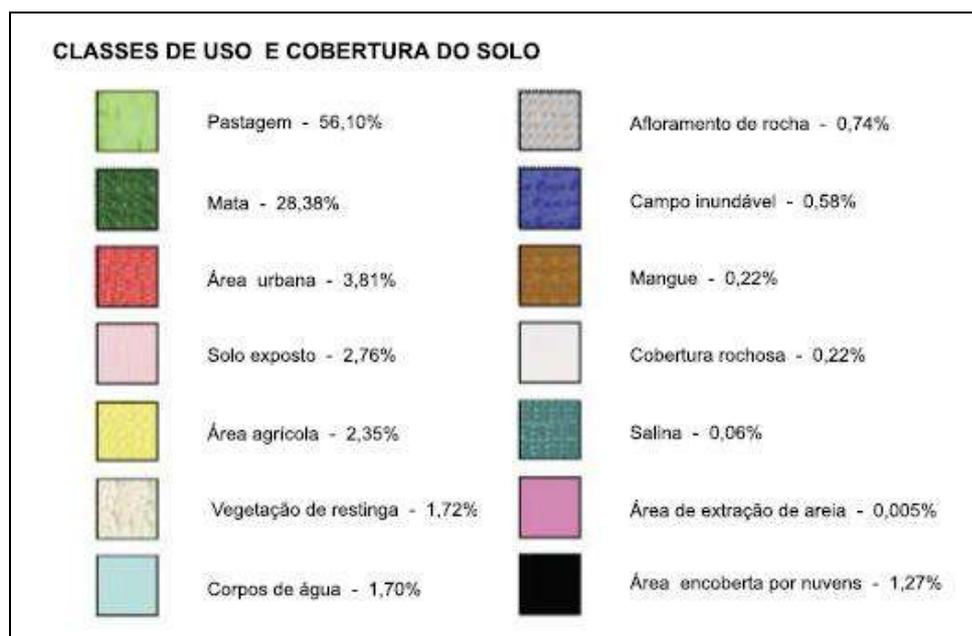


Figura 12 – Legenda do Mapa de Uso e Cobertura do Solo (Jacques & Shinzato, 2000).

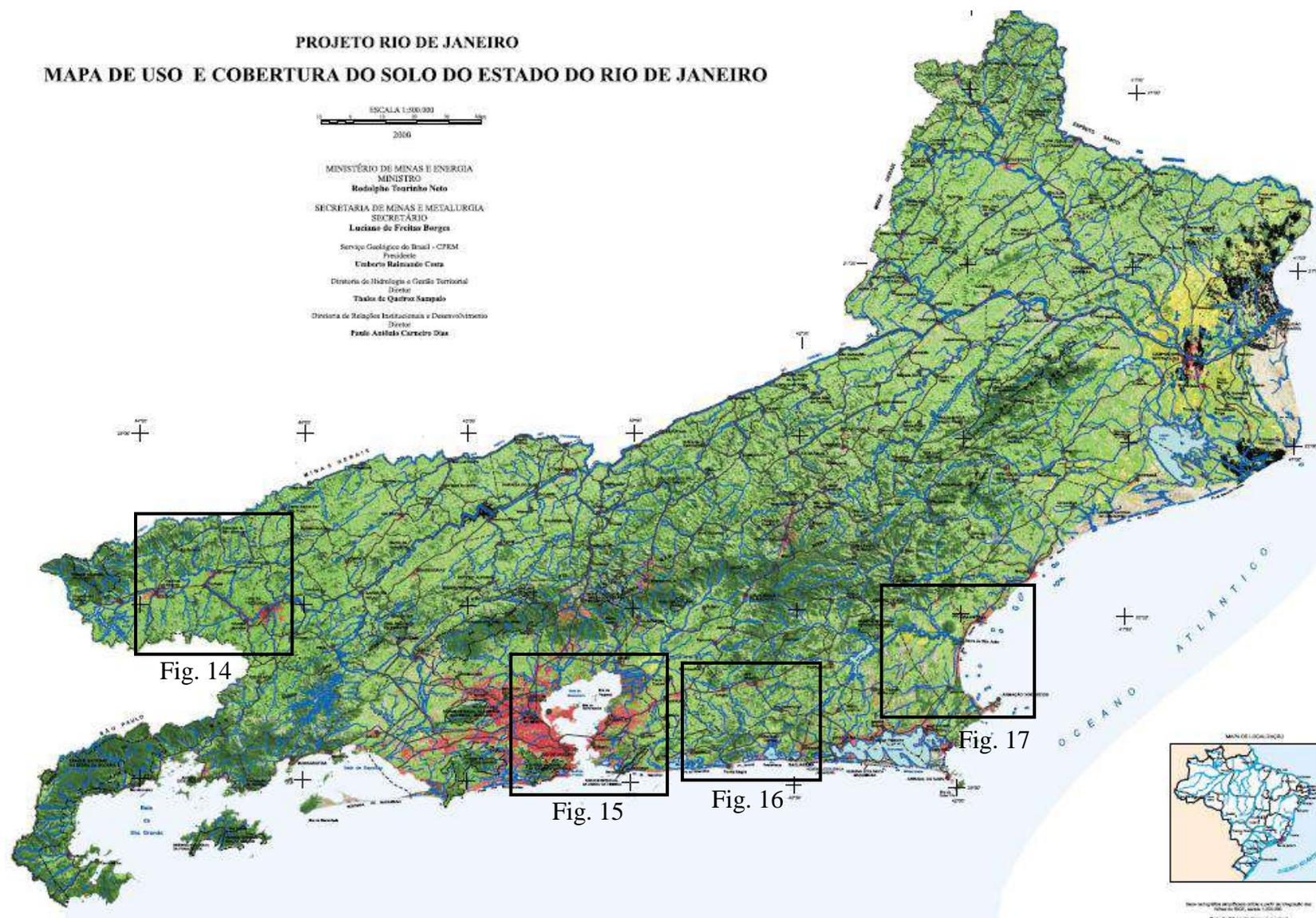


Figura 13 – Mapa de uso e cobertura do solo do Estado do Rio de Janeiro (Jacques & Shinzato, 2000).



Figura 14 - Uso e ocupação do solo na região do médio rio Paraíba do Sul (Jacques & Shinzato, 2000).



Figura 15 - Uso e ocupação do solo no entorno da baía de Guanabara (Jacques & Shinzato, 2000).

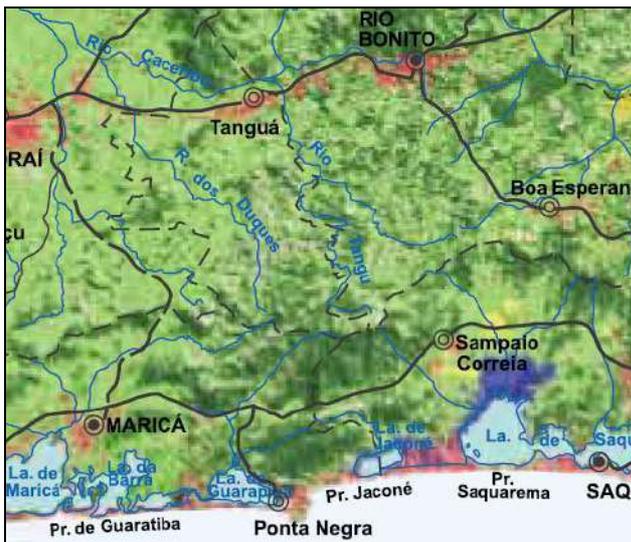


Figura 16- Uso e ocupação do solo na região litorânea no trecho entre Maricá e Saquarema (Jacques & Shinzato, 2000).



Figura 17- Uso e ocupação do solo na região litorânea entre Armação de Búzios e Rio das Ostras (Jacques & Shinzato, 2000).

4.3. Geologia

4.3.1 Contexto Geotectônico

O estado do Rio de Janeiro está quase que totalmente inserido no Orógeno Ribeira (Fig.)que, juntamente com outros orógenos (Araçuai, Dom Feliciano, São Gabriel e zona de interferência entre as Faixas Ribeira e Brasília) faz parte da Província/Sistema Orogênico

Mantiqueira, cuja história evolutiva está associada à Orogênese Brasileira/Pan-Africana (Almeida *et al.*, 1981; Heilbron *et al.*, 2004; Hackspacher *et al.*, 2004) durante a qual ocorreu a formação do supercontinente Gondwana.

A Faixa Ribeira (Cordani *et al.*, 1973; Almeida *et al.*, 1979), posteriormente designado por Orógeno Ribeira (Heilbron *et al.*, 2000), compreende um complexo cinturão de dobramentos e empurrões que se estende na direção NE-SW por cerca de 1400 km, e juntamente com a sua continuidade norte, a Faixa Araçuaí, posicionam-se na borda sudeste e sul-sudeste do Cráton São Francisco (Almeida *et al.*, 1977). É dividido em cinco terrenos tectono-estratigráficos denominados de oeste para leste de Terreno Ocidental, Terreno/*Klippe* Paraíba do Sul, Embu, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio, separados por falhas de empurrão ou por zonas de cisalhamento oblíquas (Heilbron *et al.*, 1993, 1995; 1998; 2000a).

Sua evolução está relacionada à convergência do Cráton São Francisco com outras placas e microplacas localizadas a leste (Campos Neto & Figueiredo, 1995; Heilbron *et al.*, 1998; 2000a) registrando-se dois eventos colisionais.

O Evento I, no âmbito da Orogênese Brasileira (630-550 Ma) foi marcado pela colisão entre o Cráton do São Francisco e o Terreno Oriental, incorporando ao novo continente o Arco Magmático Rio Negro, gerado durante à subducção destas duas placas (Heilbron & Machado, 2003). O Evento II, conhecido como Orogênese Búzios, transcorrido entre 525-495 Ma (Schimitt, 2000; Schimitt *et al.*, 2004; Heilbron *et al.*, 2004) resultou na acresção do Terreno Cabo Frio ao Terreno Oriental.

O Terreno Ocidental compreende um domínio autóctone considerado como margem retrabalhada do Cráton São Francisco e dois sistemas de empurrão com vergência para noroeste, representados pelos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, os quais são separados por zonas de cisalhamento e compostos por rochas Paleoproterozóicas do embasamento sobrepostas por sequências supracrustais Meso a Neoproterozóicas (Heilbron *et al.*, 1998, Ribeiro *et al.*, 1995; Paciullo *et al.*, 2000).

O Terreno Paraíba do Sul é dividido em três conjuntos litológicos distintos: ortognaisses do Complexo Quirino, cobertura supracrustal do Grupo Paraíba do Sul e rochas granitóides brasileiras (Heilbron, 1995).

O Terreno Oriental é subdividido nos Domínios Cambuci, Costeiro e Italva. Os Domínios Cambuci e Italva representam as bacias ante-arco e retro-arco, respectivamente, aflorantes no norte do estado do Rio de Janeiro, enquanto o Domínio Costeiro, aflorante na região central do

estado, aloja o Arco Magmático Rio Negro, (Heilbron *et al.*, 1995; Tupinambá & Heilbron, 2002; Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2003).

O Terreno Cabo Frio é composto de rochas supracrustais Neoproterozóicas-Cambrianas, intercaladas tectonicamente a baixo ângulo com rochas retrabalhadas do embasamento Paleoproterozóico (Schimitt *et al.*, 2008).

As estruturas tectônicas do Segmento Central da Faixa Ribeira de idade Neoproterozóica são cortadas por um conjunto de plutons que faz parte do lineamento Poços de Caldas-Cabo Frio de direção WNW-ESSE, representando o magmatismo meso-cenozoico no Estado do Rio de Janeiro (Almeida, 1991).

No Cenozoico, a margem leste da plataforma sul-Americana foi afetada por eventos tectono-magmáticos (Schobbenhaus *et al.*, 1984; Almeida, 1967) O tectonismo Cenozoico levou à formação de um sistema de pequenas bacias sedimentares continentais tafrogenéticas: “Rift Continental do Sudeste do Brasil” (Ricomini, 1989, 2004; Ferrari & Silva, 1997); “Sistemas de Riftes Continentais da Serra do Mar” (Almeida, 1976; Melo *et al.*, 1985), representadas por uma depressão alongada na direção ENE e inclui as Bacias de São José de Itaboraí, Macacu, Taubaté, Resende, Volta redonda. Do cenozoico ainda estão presentes no estado rochas do Grupo Barreiras, e a sedimentação Quaternária disposta principalmente ao longo do litoral..

4.3.2 Estratigrafia

Considerando as nomenclaturas e subdivisões já existentes, e sempre que possível com base geocronológica, Heilbron *et al.* (2007) adotaram a seguinte subdivisão estratigráfica e de cunho geotectônico para o Orógeno Ribeira:

- embasamento Arqueano e/ou Paleoproterozoico mais velho que 1,8 Ga;
- seqüências metavulcano-sedimentares Neoproterozoicas subdivididas em:
 - ✓ associações de margem passiva (etapa de abertura oceânica),
 - ✓ bacias de ante-arco e retro-arco (etapa de fechamento de oceanos),
 - ✓ e bacias sin-colisionais (bacias molássicas e de antepaís);
- granitóides Neoproterozoicos pré-colisionais, gerados em arco magmático intra-oceânico ou de margem continental ativa (período de subducção);
- granitóides Neoproterozoicos sin-colisionais;
- magmatismo pós-colisional.

Algumas unidades, em função da carência de dados geocronológicos, ainda possuem posicionamento estratigráfico incerto. (Grupo Paraíba do Sul e Complexo Embu).

Cortando e sobrepondo-se às rochas do Orógeno Ribeira, observam-se as intrusões alcalinas Meso-Cenozoicas e as bacias sedimentares Cenozoicas.

Embasamento Arqueano e/ou Paleoproterozóico

No Terreno Ocidental do Orógeno Ribeira o embasamento paleoproterozoico é representado pelo: Complexo Mantiqueira, no Domínio Andrelândia; e pelo Complexo Juiz de Fora no Domínio Juiz de Fora.

O Complexo Mantiqueira trata-se de um conjunto de ortognaisses tonalíticos a graníticos, bandados e migmatíticos, com lentes de metabasito associadas, fornecendo à associação afinidades com os terrenos bimodais arqueanos tipo TTG (Dantas *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2007). Sua ocorrência é restrita ao quadrante NW do estado, próximo às divisas com os estados de Minas Gerais e São Paulo.

O Complexo Juiz de Fora, segundo Dantas *et al.* (2000), inclui ortognaisses tipo TTG (tonalitos-trondhjemitos-granodioritos) com intercalações de gnaisses máficos, toleíticos (gnaisses bimodais) e ortognaisses potássicos. Aflora no quadrante NW do estado, próximo a divisa com Minas Gerais, na forma corpos estreitos e alongados na direção NE-SW.

No Terreno Paraíba do Sul, do Orógeno Ribeira, o embasamento Paleoproterozoico é representado pelo Complexo Quirino (Heilbron *et al.*, 2007).

O Complexo Quirino é composto por extensos corpos de ortognaisses homogêneos, leuco a mesocráticos, de granulometria variando de média à grossa, composicionalmente variando entre granitóides tonalíticos/granodioríticos a graníticos, e apresentando enclaves de rochas ultramáficas, máficas e calcissilicáticas (ricas em tremolita; Heilbron *et al.*, 2007). Os litotipos possuem remobilizados félsicos, que conferem um aspecto migmatítico aos gnaisses (Dantas *et al.*, 2000). Similarmente ao complexo Juiz de Fora, aflora no quadrante NW do estado, próximo à divisa com o estado de Minas Gerais na forma de corpos estreitos e alongados (Dantas *et al.*, 2000), ocupando uma faixa de direção NE-SW.

No Terreno Embu, do Orógeno Ribeira, o embasamento Paleoproterozoico é representado pelo Complexo Taquaral (Heilbron *et al.*, 1995, 2007), e compreende uma variedade de litotipos, sendo subdividido em duas suítes distintas como descrito por Heilbron *et al.* (2007) e apresentadas a seguir:

A suíte 1 é composta por hornblenda-biotita gnaisses bandados migmatíticos, mesocráticos, localmente porfiríticos, de composição variando de tonalítica a granítica, ricos em enclaves máficos. A suíte 2 consiste de biotita leucogranitos foliados, de granulação variando de grossa a fina, por vezes porfiríticos e com granada. Relações de campo indicam que os leucogranitos da suíte 2 cortam os ortognaisses da suíte 1. Corpos métricos de granitos tardios finos a porfiríticos, leucocráticos e com foliação incipiente, cortam rochas de ambas suítes.

No Terreno Cabo Frio o embasamento é composto por ortognaisses paleoproterozoicos de composição granítica a granodiorítica reunidos no Complexo Região dos Lagos (Fonseca, 1989; Valadares *et al.*, 1996). Os principais litotipos são: hornblenda-biotita ortognaisse cálcioalcalino, com textura granoblástica a porfirítica recristalizada (porfiroclástica), frequentes veios anatéticos, sintangenciais, de leucossomas graníticos (fusão *in situ*), bem como paleodiques máficos (anfíbolitos) dobrados. Constitui um extenso bloco na região centro-leste do estado do Rio de Janeiro.

Seqüências Metassedimentares e Metavulcano-Sedimentares Neoproterozóicas

Terreno Paraíba do Sul

No Terreno Paraíba do Sul, a sucessão metassedimentar de posicionamento estratigráfico ainda em aberto é denominada de Grupo Paraíba do Sul (Heilbron, 1993), que ocorre em camadas no núcleo de dobras reviradas, entre flancos ocupados por gnaisses do Complexo Quirino (Tupinambá *et al.* 2003a,b)

O Grupo Paraíba do Sul compreende uma sucessão de rochas metapsamíticas e metapelíticas intercaladas por rochas calciossilicáticas, gonditos, quartzitos, mármore e anfíbolitos. As rochas carbonáticas são características dessa unidade, distinguindo-a dos domínios Andrelândia e Juiz de Fora que incluem quartzitos e, mais raramente, calciossilicáticas (Heilbron & Machado, 2003).

Almeida *et al.* (1993) em trabalhos realizados no estado do Rio de Janeiro, dividiram o Grupo Paraíba do Sul em três unidades, da base para o topo, Unidade Três Barras, Unidade São João e Unidade Beleza.

A Unidade Três Barras é constituída por biotita gnaisses bandados e migmatíticos com hornblenda, granada e níveis ricos em porfiroblastos de feldspatos. Nestes gnaisses ocorrem

porções de leucogranitos foliados e intercalações de rochas calciossilicáticas e de níveis xistosos biotíticos de granulação grossa (Almeida *et al.*, 1993).

A Unidade São João é constituída por gnaisses pelíticos com granada, sillimanita e muscovita e por gnaisses mais grossos ricos em pórfiroblastos de granada e feldspato. Intercalam-se lentes de rochas calciossilicáticas, mármore, anfíbolitos e gnditos. (Heilbron *et al.*, 2007).

A Unidade Beleza compreende uma marcante intercalação de granada-biotita gnaisses com xistos e gnaisses pelíticos ricos em sillimanita, muscovita e biotita. Difere das anteriores pela maior frequência de intercalações lenticulares de rochas calciossilicáticas, gnditos, mármore, e subordinadamente, anfíbolitos e quartzitos.

Terreno Embu

No Terreno Embu, a sucessão metassedimentar de posicionamento estratigráfico ainda em aberto é denominada de Complexo Embu (Hasui, 1975; Fernandes *et al.*, 1990; Fernandes, 1991) constituído de gnaisses e xistos pelíticos com intercalações de quartzitos e rochas calciossilicáticas, aflorantes no sul do estado do Rio de Janeiro, na divisa com São Paulo e Minas Gerais.

Sua parte basal é constituída de sillimanita-muscovita-biotita gnaisse/xisto, com diversas intercalações de rochas calciossilicáticas, quartzitos micáceos, e, raramente mármore e anfíbolito. Os gnaisses xistosos possuem composição pelítica e, normalmente, apresentam lecosomas anatéticos (Fernandes *et al.*, 1990). Embora a parte superior apresente constituição litológica semelhante, ocorrem níveis de estauroлита-muscovita-biotita xisto, granada-hornblenda-biotita gnaisse fino e raras lentes de tremolita xisto.

Terreno Ocidental

A associação metassedimentar dos Domínios Estruturais Andrelândia, Juiz de Fora (Terreno Ocidental do Orógeno Ribeira) é conhecida como Grupo, Complexo, Ciclo (CDA) (Andreis *et al.*, 1989) ou, mais recentemente, como Megassequência Depositional Andrelândia (Paciullo, 1997, 2000), e é representada por uma associação de gnaisses de origem sedimentar com idade entre 1,0 e 0,79 Ga (Ribeiro *et al.* 1995, Söllner & Trouw 1997) de composição pelítica a semi-pelítica. Granada, biotita e sillimanita, além de quartzo, plagioclásio

e K-feldspato, constituem sua mineralogia principal. Zircão, turmalina, rutilo e apatita são acessórios comuns. Ortopiroxênio pode aparecer, indicando também o metamorfismo de alta temperatura. Texturas migmatíticas são frequentes e bancos métricos de quartzitos e gonditos, e lentes menores de rochas calcissilicáticas de cor verde, são comuns. A unidade apresenta ainda lentes de rochas anfíbolíticas e de rochas meta-ultramáficas. Dentre as rochas ultramáficas predominam serpentinitos maciços, com núcleos mais preservados de harzburgito, dunito e espinélio hornblendito, clorita e tremolita xistos, e essas rochas ocorrem intercaladas nos gnaisses e xistos pelíticos da parte superior da Megassequência Andrelândia.

Os metassedimentos da Megassequência Andrelândia, que ocorrem no quadrante NW do estado do Rio de Janeiro, estariam empurrados para leste segundo a tectônica da Faixa Brasília e, posteriormente sofreram encurtamento N-S correlato à tectônica da Faixa Ribeira (Heilbron, 1993).

Terreno Oriental

O Domínio Cambuci compreende uma sucessão metavulcano-sedimentar metamorfizada em fácies anfíbolito alto a granulito, invadida por diversas gerações de rochas granitoides. Os principais litotipos incluem biotita-gnaisses, granada gnaisses e gnaisses associados a rochas metamáficas, gonditos, rochas calcissilicáticas e mármore dolomíticos, que atestam a sua origem sedimentar. (Heilbron & Machado, 2003)

O Domínio Italva do Terreno Oriental inclui sillimanita granada biotita gnaiss, hornblenda biotita gnaiss bandado intercalado com biotita gnaiss e mármore predominantemente calcíticos (Menezes, 1975) com intercalação de anfíbolito (Machado Filho et al., 1983; Sad et al., 1980; Peixoto, 2008; Peixoto, 2010). O Domínio Italva teria evoluído em um ambiente geotectônico de bacia retro-arco, em estágios iniciais da subducção, desde ca. 848 Ma com contribuição de rochas carbonáticas, rochas vulcânicas e ou vulcanoclásticas derivadas de arco e rochas anfíbolíticas relacionadas a regimes extensionais e a evolução do arco teria perdurado até ca. 620 Ma (Peixoto & Heilbron, 2010).

No Domínio Costeiro compreende uma seqüência sedimentar de margem passiva constituída por paragneisses, quartzitos e rochas calcissilicáticas, metamorfizadas em fácies anfíbolito alto a granulito e invadidas por diversas gerações de rochas granitoides como os ortogneisses do Complexo Rio Negro (arco magmático), além de granitos sin a pós-tectônicos (Tupinambá *et al.*, 2007).

Rochas Granitóides Brasileanas

O Estado do Rio de Janeiro é caracterizado por abundante granitogênese Neoproterozóica, associada à deformação e metamorfismo da seqüência metassedimentar do Grupo Paraíba do Sul, resultantes do Ciclo Orogênico Brasileiro. (Dantas *et al.*, 2000).

Com base em dados geocronológicos U/Pb, a Orogênese Brasileira é subdividida em períodos tectônicos (Machado *et al.*, 1995; Heilbron *et al.*, 1995; Tupinambá *et al.*, 1998): pré-colisional (630-600 Ma); sin-colisional (590-565 Ma) e pós-colisional (540-520 Ma).

O magmatismo pré-colisional de arco (Arco Magmático Rio Negro) ocorre somente no Terreno Oriental, é representada por intrusões calcioalcalinas, e é comparável ao magmatismo tipo-I Cordilherano de margem continental ativa tipo Andino (Machado *et al.*, 2003; Tupinambá *et al.*, 1998, 2000). Os ortognaisses do complexo Rio Negro apresentam pelo menos duas séries calcioalcalinas, uma de médio potássio e outra de alto potássio. A série de médio K predomina nos setores central e nordeste do Estado do Rio de Janeiro e compreende rochas dioríticas e granodioríticas com predominância de tonalitos (Heilbron e Machado, 2003). A série de alto K compreende principalmente granitos e granodioritos. São comuns rochas porfiríticas, nas quais a biotita predomina no lugar da hornblenda e a apatita e titanita aparecem como minerais principais (Tupinambá *et al.*, 2000).

A fase sin-colisional é marcada pela migmatização e geração de leucogranitos do tipo S, com textura bandada, que cortam o Arco Magmático Rio Negro (Tupinambá, 1999). Os granitoides brasileiros sin e pós-colisionais ocorrem tanto no Terreno Oriental como no terreno Ocidental.

A fase sin-colisional é representada por magmatismo calcioalcalino (Tupinambá *et al.*, 2000) que gerou rochas granitóides porfiríticas como os granitos Serra dos órgãos (Tupinambá, 1999), Itacoatiara e Facoidal (Heilbron e Machado, 2003), Maromba, Pedra Selada, Funil (Mendes *et al.*, 2006b) e Barra Alegre (Mendes *et al.*, 2007). Os tipos litológicos mais comuns variam de granada-biotita granodioritos a granitos porfiríticos com cristais de feldspato centimétricos (Heilbron & Machado, 2003). Ao contrário dos magmas pré-colisionais, dados isotópicos desses granitóides indicam altos índices de contaminação da crosta paleoproterozóica (Heilbron e Machado, 2003).

A fase sin-colisional é marcada por intrusões de granitoides calcioalcalinos em (Tupinambá *et al.*, 2000), que ocorrem como plutons (Granito Pedra Branca) e que podem estar

associados com gabros e dioritos de afinidade toleítica. A intrusão desses plutons está relacionada a uma fase de migmatização do Terreno Oriental, que resultou em lentes leucossomáticas métricas e irregulares (Heilbron & Machado, 2003). Os plútons maiores apresentam variação textural de fácies porfíricas a inequigranulares, além de apresentarem, comumente, enclaves e estruturas de fluxo.

Segundo Heilbron et al (1995), na fase pós-colisional, os granitos são corpos isotrópicos e possuem contatos bruscos e xenólitos das encaixantes. Estes granitos possuem inúmeras denominações locais: Granito Favela (Pires et. al., 1982); Andorinha (Penha et al., 1980); Sana (Grossi Sad, 1980); Teresópolis (Junho, 1992); Caju (Ferrari et al., 1982), dentre outras.

Intrusivas Alcalinas Meso-Cenozoicas

O plutonismo alcalino concentra-se preferencialmente na região litorânea centro-sudeste do estado. O magmatismo é representado por um grande número de corpos alcalinos que ocorre na região entre Poços de Caldas e Cabo Frio derivados de fenômenos magmáticos e tectônicos que ocorreram nesta área durante as eras Mesozóica e Cenozóica. Essas rochas alcalinas encontram-se distribuídas segundo o Alinhamento de Rochas Alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (Almeida 1983, 1986, 1991, Almeida et al. 1996; Thomaz e Filho & Rodrigues, 1999).

Este alinhamento é caracterizado por 26 corpos de rochas alcalinas intrusivas (sob formas de *stocks* e *plugs*), e numerosos diques (Almeida, 1991), sendo a maior parte desses corpos situados entre os Maciços de Itatiaia-Passa Quatro e o Morro de São João em Casimiro de Abreu (Almeida, 1991). Essas rochas apresentam idades variando do Cretáceo Superior ao Eoceno e se alinham em uma direção WNW-ESSE, no Estado do Rio de Janeiro, e cortam de forma oblíqua, a direção preferencial das estruturas tectônicas da Faixa Ribeira (Marsh, 1973).

No estado do Rio de Janeiro foram discriminados cartograficamente segundo Dantas *et al*, (2000) os seguintes plútons: Maciço Alcalino da Serra do Mendanha, Maciço Alcalino Morro dos Gatos, Maciço Alcalino de Rio Bonito, Maciço Alcalino Soarinho, Complexo Alcalino Itaúna, Maciço Alcalino do Morro São João; Intrusão Alcalina da Ilha de Cabo Frio, Maciço Serra dos Tomazes, Intrusão Alcalina Marapicu Maciço Alcalino de Itatiaia, Maciço Alcalino de Tanguá, Maciço Alcalino Passa Quatro e Suíte Alcalina de Tinguá.

Almeida (1991) refere-se a essas rochas alcalinas como sendo predominantemente félsicas e representadas principalmente por nefelina sienito, pulaskito, foiaíto, fonólito, tinguáito e traquito.

Muitos estudos têm procurado interpretar a origem desse alinhamento de corpos de rochas preferencialmente alcalinas. Alguns deles, como Herz (1977), Cordani & Teixeira (1979), Sadowski & Dias Neto (1981), Fletcher & Litherland (1981), Fodor et al. (1984), e Gibson et al. (1995 e 1997) sugeriram tratar-se de manifestações magmáticas da movimentação da placa litosférica Sul-Americana por sobre um hot spot situado possivelmente na astenosfera, durante a fase de separação entre as placas tectônicas da América do Sul e da África.

Bacias Continentais Cenozoicas e Grupo Barreiras

As bacias continentais cenozoicas e o Grupo barreiras estão inseridos no contexto do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). O RCSB é uma feição tectônica de idade cenozóica desenvolvida entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ). Morfologicamente constitui uma faixa deprimida e alongada de direção geral ENE, com extensão aproximada de 900 km, abrangendo bacias sedimentares (Riccomini, 1989).

A formação da depressão original do RCSB foi condicionada por um campo de esforços trativos de direção NNW-SSE imposto pelo basculamento termomecânico da Bacia de Santos, como decorrência da abertura do Oceano Atlântico (Riccomini 1989). Este evento extensional promoveu a reativação normal de zonas de cisalhamento preexistentes de direção ENE a NE e teve início provavelmente no Paleoceno (Riccomini 1989).

No Estado do Rio de Janeiro, segundo Riccomini (1989, 2004) podem ser encontrados como representantes do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) a Bacia de São José de Itaboraí, Bacia de Macacu, Bacia de Volta Redonda, Bacia de Resende, e Bacia de Taubaté. Essas bacias são caracterizadas por sedimentação continentais ligados à ambientes fluvial e lacustre.

Segundo Silva & Cunha (2001), a Bacia de Itaboraí é constituída por calcários e sedimentos rudáceos-psamíticos. Para Lima & Souza Cunha (1986) a análise Palinológica da bacia indica que a deposição se deu em condições continentais, com clima quente e úmido.

A Bacia de Macacú, de idade eocênica-oligocênica, foi definida por Ferrari & Silva (1997) como um conjunto caracterizado pela presença de fácies lamosas, arenosas e conglomeráticas, atribuídas a um ambiente de leque aluvial, intercalado com sedimentação lacustre.

O registro sedimentar da Bacia de Volta Redonda ocorre em duas principais áreas: uma, como áreas isoladas em meio ao embasamento pré-cambriano, na área urbana de Volta Redonda

e Barra Mansa; e outra, denominada Gráben Casa de Pedra, que constitui a principal área sedimentar, alongada com direção WSW-ENE entre Volta Redonda e Pinheiral. (Melo *et al.*, 1983; Ricomini, 1989)

A Bacia Sedimentar de Resende está localizada no segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Ricomini, 1989), no extremo oeste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), abrangendo os municípios de Barra Mansa (Distrito de Floriano), Quatis, Porto Real, Resende e Itatiaia. O registro sedimentar é composto por ruditos, arenitos e pelitos, característicos de depósitos de leques aluviais e depósitos fluviais (Ramos *et al.*, 2006).

A Bacia de Taubaté aflora numa área restrita, situada a oeste da cidade de Itatiaia. Os depósitos sedimentares da bacia são de granulometria grossa nas bordas falhadas da bacia, além de depósitos arenosos e argilosos, na parte central, ligados a ambientes de sedimentação fluvio-lacustres (Ricomini, 1989)

O Grupo Barreiras se distribui ao longo de uma extensa faixa do litoral brasileiro, desde o Amapá até o Rio de Janeiro, onde aflora na região de Carapebus- Quissamã, no litoral norte fluminense, e mais restritamente, próximo às cidades de Búzios e Macaé. Sua origem é atribuída ao Plioceno, sob clima semi-árido. Os depósitos são de areias grossas a conglomeráticas com estratificação cruzada na base; areias grossas quartzosas e argilas vermelhas e brancas no topo (Ferrari *et al.*, 1981; Silva & Cunha, 2001).

Formações Superficiais Quaternárias

As formações superficiais quaternárias são encontradas tanto na região ocidental quanto na região oriental do estado. A sedimentação quaternária na porção ocidental do estado corresponde a depósitos aluvionares areno-argilosos e depósitos litorâneos.

Os sedimentos aluvionares areno-argilosos, localmente conglomeráticos, alcançam suas maiores dimensões na calha do rio Paraíba do Sul. Os depósitos rudíticos de talus, associam-se a desníveis topográficos consideráveis, ao maciço de Itatiaia e à Serra da Mantiqueira, na folha Volta Redonda, e à Serra do Mar na folha Ilha Grande.

Os depósitos litorâneos ocorrem como depósitos de mangue (areno-argilosos), permanentemente sob a influência das marés, e depósitos de cordões praias, eólicos, fluviomarinhos, lagunares e fluviais.

Os depósitos quaternários na porção oriental do estado estão bem representados, principalmente na faixa costeira, em Jacarepaguá, na Baixada Fluminense, no entorno da Baía de Guanabara, na região dos lagos e em Campos.

Os depósitos de restinga tem origem está relacionados às correntes marítimas transportando areia em abundancia. Uma característica nesses depósitos é a ocorrência de campos de dunas recentes (depósitos eólicos), considerados como testemunhos erosivos de antigos cordões litorâneos, provavelmente pleistocênicos.

Os depósitos marinhos e fluviomarinhos são sistemas subparalelos no litoral, relacionados aos alinhamentos quase que retilíneos dos antigos cordões ou linhas de praia. Representam terraços arenosos, marinhos, cuja formação está diretamente relacionada com o desenvolvimento do delta do rio Paraíba do Sul, pois à medida em que esse rio deposita sua carga na foz, eles são retrabalhados, transportados e depositados no litoral pelas correntes costeiras e ondas (Silva & Cunha, 2001).

Os depósitos marinhos na enseada da baía de Guanabara são terraços testemunhos de transgressão marinha (Amador, 1980). São constituídos de areia grossa, mal selecionada, próximo Magé gradam lateralmente a sedimentos finos a médios, bem selecionados, sendo explorados economicamente

Os depósitos praias correspondem às linhas de praia atuais, caracterizadas por estreitas faixas distribuídas ao longo do litoral, como entre Saquarema e Cabo Frio. Os sedimentos são constituídos de areias marinhas quartzosas, bem selecionadas, com conchas e fragmentos de conchas distribuídas em toda sua área de ocorrência (Silva & Cunha, 2001).

Os sedimentos fluviomarinhos que ocorrem na enseada da baía de Guanabara e na região dos Lagos foram reunidos na Formação Magé por Amador & Ponzi (1974), e caracterizam-se por episódios transgressivos e regressivos do nível do mar. Esses sedimentos são constituídos por silte e argila, ricos em matéria orgânica, englobando manguezais, brejos e pântanos recentes (Stein et al., 1989).

Depósitos fluviolacustrinos ocorrem às margens da lagoa Feia (área mais expressiva), e das lagoas da Região dos Lagos. São depósitos argilosos com alto teor de matéria orgânica, podendo ocorrer também depósitos conchíferos de bivalvios (Silva & Cunha, 2001).

Depósitos colúvio-aluvionares predominam sedimentos fluviais recentes, estabelecidos ao longo das calhas dos principais rios que drenam a área costeira. São representantes dessa sedimentação os depósitos aluvionares, os colúvios e os depósitos de talus.

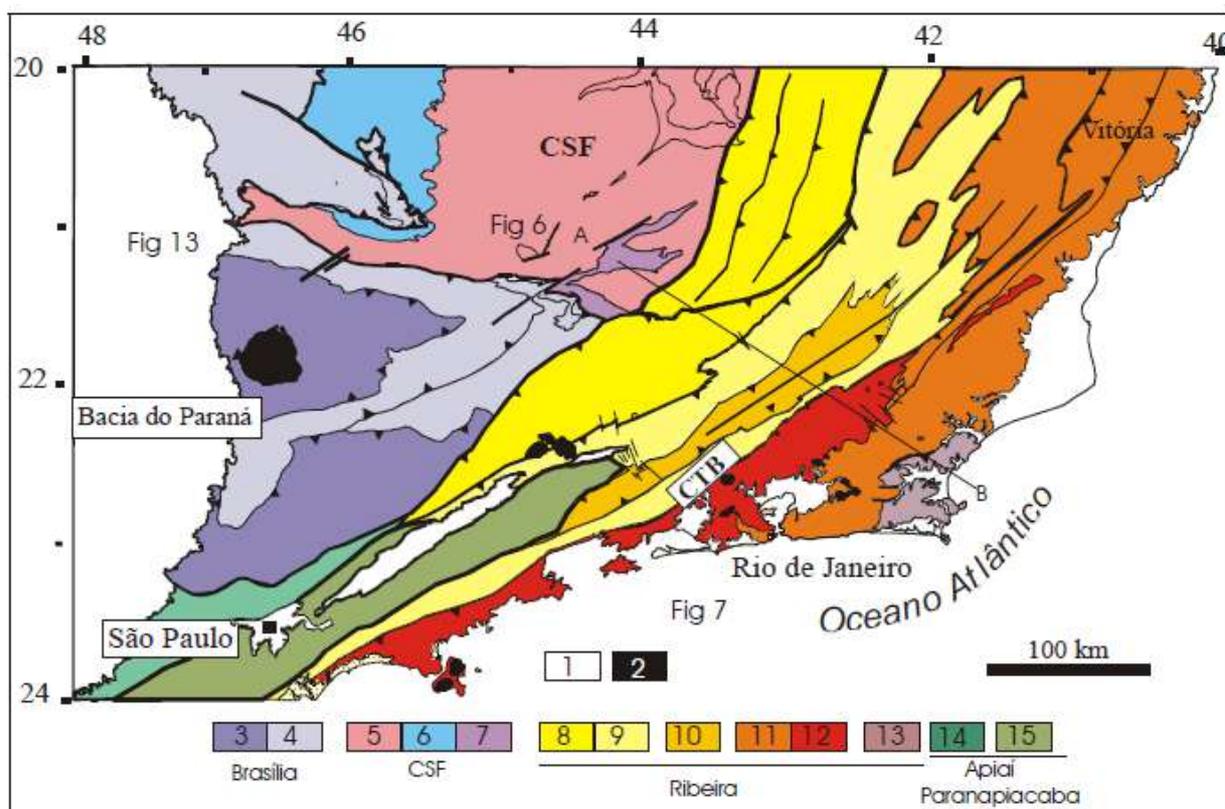


Figura 18 - Mapa tectônico do Segmento central do Sistema Orogênico Mantiqueira. Legenda. 1- Riftes Cenozóicos; 2- Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília (3-4): 3- Nappes Inferiores; 4- Nappes Superiores; 5- Embasamento do CSF e domínio autóctone; 6- Supergupo São Francisco; 7- Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13): 8- Domínio Andrelândia e 9- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10- Grupo Paraíba do Sul; 11- Terreno Oriental; 12- Granitóides do Arco Magmático Rio Negro; 13- Terreno Cabo Frio; Orógeno Apiaí/Paranapiacaba (14-15): 14- Terrenos São Roque e Açunguí; 15- Terreno Embu. (Heilbron, 2003)

4.4. Hidrografia

4.4.1 Divisão Hidrográfica do Território Brasileiro

O território brasileiro está dividido em doze macrorregiões hidrográficas, as chamadas Regiões Hidrográficas Brasileiras (Brasil, 2003; Fig. 8): Região Hidrográfica Amazônica, Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, Região Hidrográfica do Parnaíba, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, Região Hidrográfica do São Francisco, Região Hidrográfica Atlântico Leste, Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, Região Hidrográfica do Paraná, Região Hidrográfica do Uruguai, Região Hidrográfica Atlântico Sul, Região Hidrográfica do Paraguai.

O CNRH considera como região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.



Figura 19 - Regiões Hidrográficas do Brasil (MMA, 2006b).

4.4.2 Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste

O Estado do Rio de Janeiro está totalmente inserido na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, e é constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico - trecho Sudeste, estando limitada ao norte pela bacia hidrográfica do rio Doce, inclusive, a oeste pelas regiões hidrográficas do São Francisco e do Paraná e ao sul pela bacia hidrográfica do rio Ribeira, inclusive (MMA, 2006b).

Neste trabalho será considerada a classificação das regiões hidrográficas a nível estadual, ou seja, aquelas delimitadas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), pois abrangem todo o estado do Rio de Janeiro de forma simplificada, incluindo os principais rios que fazem parte da malha hidrográfica de onde foram identificados os pontos amostrados.

4.4.3 As Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro

Desde novembro de 2006, o território do Rio de Janeiro, para fins de gestão dos recursos hídricos, encontra-se subdividido em dez regiões hidrográficas (Fig. 13), de acordo com afinidades geopolíticas e as bacias que abrangem (Brasil, 2006).

Compreendem a RH1 (Baía da Ilha Grande), RHII (Guandu), RHIII (Médio Paraíba do Sul), RHIV (Piabanha), RHV (Baía de Guanabara), RHVI (Lagos/ São João), RHVII (Dois Rios), RHVIII (Macaé e das Ostras), RHIX (Baixo Paraíba do Sul) E RHX (Itabapoana).

A bacia hidrográfica do Médio Paraíba do Sul é uma das maiores do estado, e junto com a bacia do Baixo Paraíba do Sul, ocupam em área 57% do território fluminense, sendo responsável pelo abastecimento de cerca de milhões de habitantes residentes entre os municípios de Campos e Resende (Francisco & Carvalho, 2004).

O Rio Paraíba do Sul é de domínio federal (Fig. 14), pois atravessa três estados, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Em território fluminense, esta bacia é formada por sub-bacias cujas nascentes estão no reverso da Serra do Mar e banha dezenove municípios: Itatiaia, Resende, Porto Real, Quatis, Barra Mansa, Volta Redonda, Pinheiral, Valença, Rio das Flores, Comendador Levy Gasparian, Rio Claro, Piraí, Barra do Piraí, Vassouras, Miguel Pereira, Paty dos Alferes, Paraíba do Sul, Três Rios e Mendes.

A Bacia Hidrográfica do Rio Guandu também tem papel relevante no estado. Segundo o INEA (Brasil, 2006), O rio Guandu é formado pelo rio Ribeirão das Lajes, pela vazão de até $20\text{m}^3/\text{s}$ do rio Piraí e por $160\text{m}^3/\text{s}$ de água do rio Paraíba do Sul. Em Barra do Piraí, $2/3$ da vazão do rio Paraíba, cerca de 160m^3 de águas, são captados e bombeados na elevatória de Santa Cecília para as usinas do Sistema Light e são conduzidas ao reservatório de Santana, formando, então, o rio Guandu, onde se localizam a captação e a estação de tratamento de água da Cedae.

Pode-se dizer que os rios Guandu e Paraíba do Sul são os mais importantes rios do Estado do Rio de Janeiro, já que são responsáveis pelo sistema de abastecimento d'água para milhões de pessoas, incluindo 85% dos habitantes da Região Metropolitana.



Figura 20 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: Brasil, 2006).



Figura 21 – Rio Paraíba do Sul banhando o município de São Fidélis no NW fluminense.

5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, campo e laboratório, descritas em detalhe a seguir.

5.1. Etapas de Campo

As etapas de campo foram realizadas com o auxílio de um acervo topográfico levantado junto à CPRM e contou com cartas topográficas na escala 1:250.000, que junto com um aparelho de GPS, que registrou as coordenadas dos pontos de coleta, serviram como subsídio à localização dos cursos de água fluvial e dos pontos amostrados. Essas cartas, junto com as cartas topográficas com arquivos vetoriais (escala 1:100.000) da CPRM, como também cartas topográficas que cobrem quase todo estado do Rio de Janeiro (1:50.000) disponíveis na *homepage* do IBGE, serviram para espacialização dos dados gerados com o programa de geoprocessamento.

5.1.1. Coleta das Amostras

Os trabalhos de campo deram-se em duas etapas: a primeira durante o período de 05/01/2011 a 11/01/2011, e a segunda entre 12/01/2011 e 30/01/2011

Foram coletadas 78 amostras de água fluvial (Fig. 21), selecionadas dentre os rios que no Projeto Levantamento Geoquímico do Estado do Rio de Janeiro (Cunha *et al.*, 2000) apontaram resultados anômalos para concentração de elementos químicos, como rios na região do médio rio Paraíba do Sul e na região litorânea. As coordenadas UTM, os rios correspondentes, como também os parâmetros físico-químicos e os ânions encontram-se no Anexo I.

No que se refere à cobertura da drenagem amostrada, o adensamento proposto para a individualização das bacias hidrográficas incluiu adensamento de 1 amostra/200 km² – Área I (área de drenagem entre 50-100 km²) ou 1 amostra/2.000 km² – Área II (área de drenagem entre 1000 km² e 3000 km²), pois, incluídas amostras com bacia de captação inferior a 100km², (coletando amostras de águas fluviais em microbacias e afluentes dos grandes rios), visa a uma melhor representatividade da área total amostrada, como realizado por Cunha *et al.* (2000) em mapeamentos geoquímicos de baixa densidade.

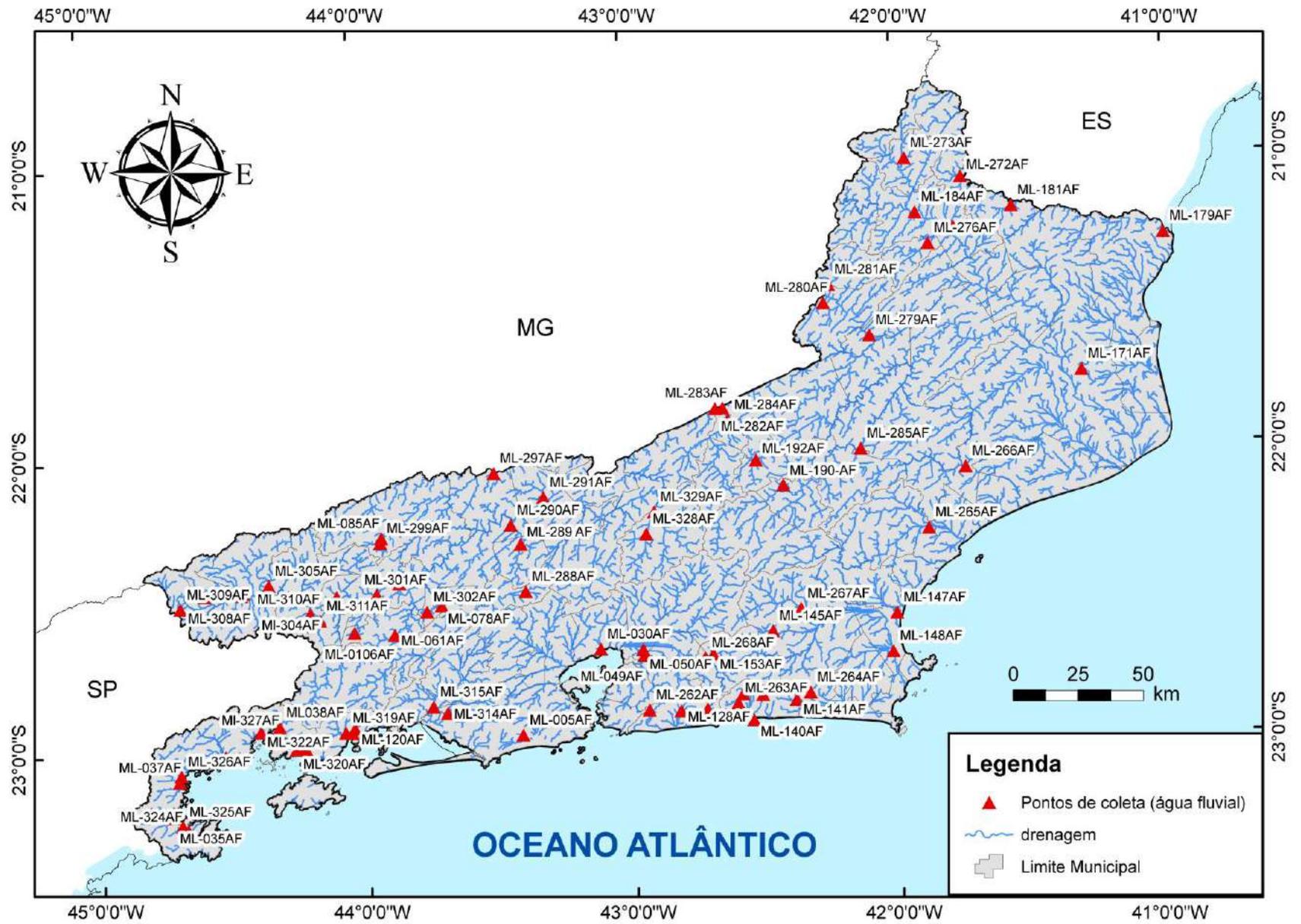


Figura 22 Mapa de localização de coleta de água fluvial.

A coleta de material foi realizada segundo técnicas e procedimentos pré-estabelecidos, e seguiu a sistemática de procedimentos de medição orientada pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (Lins, 2003).

Em cada ponto de amostragem foram coletadas duas alíquotas, sendo uma para análise dos ânions e outra para análise dos cátions. A coleta das amostras de água foi feita utilizando-se um recipiente para coleta direta de material do corpo aquoso (Fig. 15), tubos para centrífuga de 50 mL, seringas sem agulha e unidades filtrantes de 0,45 μm .

A coleta procedeu-se segundo os seguintes passos:

a) enchia-se a seringa com água do rio; acoplava-se a unidade filtrante e procedia a filtração da água da seringa para os tubos até atingir o volume de 50 mL (Fig. 16); em um dos tubos armazenava-se a amostra para a análise de cátions (não representadas neste trabalho) e em outro a amostra para a análise de ânions;

b) para a preservação dos cátions solúveis nas amostras eram adicionadas 20 gotas de HNO_3 (10 N), mantendo o pH menor que dois (Fig. 17). Depois de lacrados eram identificados, distintos por fitas de coloração diferentes (azul para ânions e vermelho para cátions) – (Fig. 18) e armazenados em caixa de isopor com sílica gel congelada, pois, as amostras devem permanecer obrigatoriamente refrigeradas até o momento da análise (Cunha e Machado, 2003) (Fig. 20);

c) simultaneamente à coleta de água foram medidos, com a multisonda OAKTON modelo PCD650 (Fig. 19), os parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD);

d) as coordenadas de cada ponto de coleta eram registradas em GPS, a toponímia levantada, como também a sua fotografia. Todos esses dados estão registrados na caderneta geoquímica de campo, que também contém as observações sobre as principais características do meio ambiente e a degradação da área no entorno do local de amostragem, da presença de fontes de poluição e/ou de contaminação, utilização das águas, incidência de doenças crônicas na população, etc.



Figura 23 - Coleta de água em ponte sobre um rio.



Figura 24 - Utilização da seringa e do filtro para coleta de água.



Figura 25 - Adição de gotas de HNO_3 .



Figura 26 - Fitas coloridas na identificação das amostras.



Figura 27 - Multisonda utilizada para medir *in situ* os parâmetros físico-químicos.



Figura 28 - Armazenamento das amostras após a coleta de água.

5.2. Etapas de Laboratório

Esta etapa corresponde aos procedimentos analíticos, elaboração de banco de dados em ferramenta SIG, elaboração de mapas e redação do corrente texto.

5.2.1. Análises Químicas

As análises químicas das amostras de água foram realizadas no laboratório do Centro Tecnológico de Análises (CETAN) pelo método de análise dos ânions por cromatografia iônica aplicação do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SM 4110) e forneceram as concentrações de sete ânions: cloreto (Cl^-); brometo (Br^-); fluoreto (F^-); nitrito (NO_2^-); nitrato (NO_3^-); fosfato (P); e sulfato (SO_4^{2-}). Os dados analíticos foram incorporados em ambiente SIG e então utilizados na elaboração dos mapas de distribuição dos dados e apresentados nos resultados.

5.2.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento dos dados foi dividido em três etapas. A primeira consistiu no pré-processamento dos dados (tratamento inicial do MDE); a segunda correspondeu à etapa de elaboração de mapas de teores individualmente e com um atributo por vez; e na terceira etapa foi feita a delimitação de bacias de drenagem.

Os atributos utilizados na segunda e terceira etapas foram: os resultados analíticos das concentrações dos ânions; e os parâmetros físico-químicos obtidos nas etapas de campo. Todas as etapas de geoprocessamento foram realizadas com a utilização do *software ArcGIS 9.3* da *ESRI*. O *software* ARCGIS 9.3 foi utilizado para delimitação da rede de drenagem, hierarquia dos canais de acordo com Strahler (1952), delimitação das bacias/microbacias, permitindo dessa forma a construção de um banco de dados geográfico da área de estudo, além da elaboração de mapas de isoteores com os resultados analíticos dos ânions, separando em classes conforme intervalos que melhor representassem os pontos com baixos e altos valores, dependendo do parâmetro em questão, e seus limites segundo a resolução 357/2005 CONAMA.

5.2.2.1 Obtenção dos Modelos Digitais de elevação (MDEs)

Os dados disponibilizados pelo TOPODATA estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, ou seja, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. A articulação adotada pelo TOPODATA, das folhas que contêm os arquivos com variável altitude numérica, com planos de informação em formato GEOTIFF (ZN_tf.), ângulo de iluminação a 45° de elevação, 0° de azimute e MDE com exagero vertical de 3x, está representadas na Figura 22.

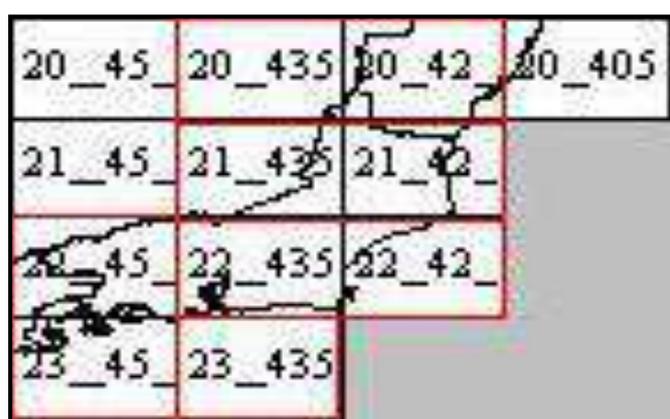


Figura 29 - Articulação dos arquivos derivados do SRTM. Ao lado o nome dos arquivos adquiridos. (Fonte: TOPODATA, 2011)

• 20_42_ZN_tf;
• 20_435ZN_tf;
• 21_42_ZN_tf;
• 21_45_ZN_tf;
• 21_435ZN_tf;
• 22_42_ZN_tf;
• 22_45_ZN_tf;
• 22_435ZN_tf;
• 23_45_ZN_tf;
• 23_435ZN_tf

5.2.2.2 Pré-processamento dos dados (Tratamento inicial do MDE)

Após a adição na área de trabalho de todos os arquivos de MDE obtidos separadamente, estes foram reunidos para que juntos formassem um único arquivo. Efetuou-se, então, o recorte dos arquivos de SRTM para que estivessem representadas apenas as regiões que estão dentro da área de estudo. Para isso foi utilizada no menu do ArcTool Box, a caixa de ferramentas de gerenciamento de dados (Data Management Tools) que fornece um conjunto de variadas ferramentas usadas para desenvolver, gerenciar características, conjunto de dados, camadas e estruturas de dados em formato *raster* ESRI (2006).

Na caixa de ferramentas *Data Management Tools* foi selecionado o item *General* e usou-se a opção *Mosaic to New Raster* - Figura 23, que junta múltiplas grades contínuas adjacentes. A partir daí um único arquivo passou a representar a união dos vários modelos digitais de elevação.

Realizou-se então o recorte do MDE unificado com a ferramenta *Extraction>Extract by mask*, que utiliza o molde do contorno do estado e o resultado foi um MDE que representa somente a área de estudo, como ilustrado na Figura 24 e passou a ser o arquivo base para os próximos passos do geoprocessamento.

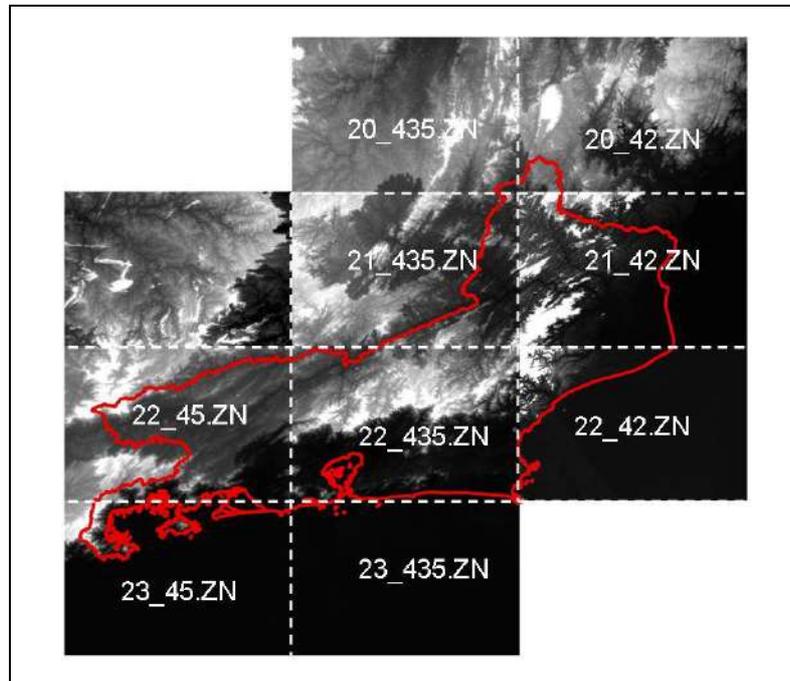


Figura 30 - Arquivos MDE unificados com a ferramenta (*Mosaic to New Raster*)

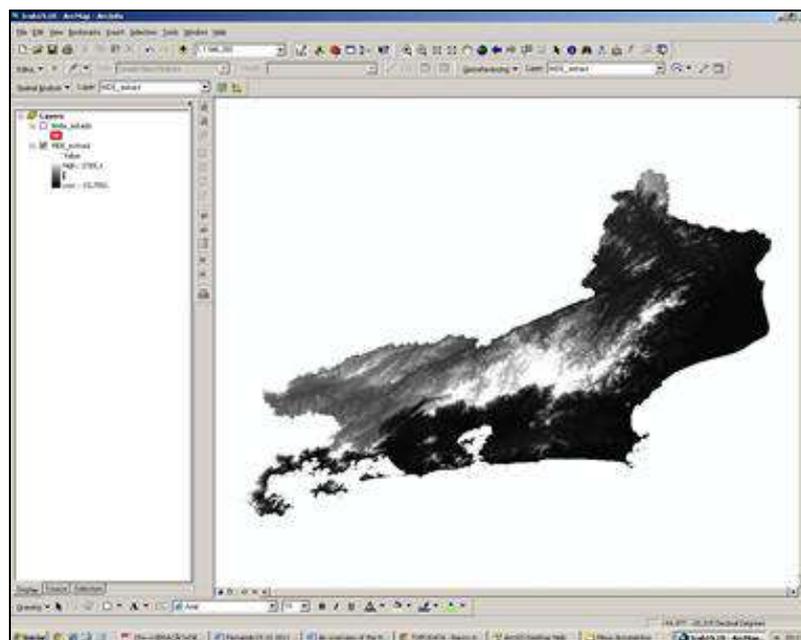


Figura 31 MDE representando a área de estudo e que passou a ser a base dos próximos arquivos gerados durante o geoprocessamento.

5.2.2.3 Mapas de Teores

Foram confeccionados mapas de teores para os parâmetros pH, Condutividade Elétrica (CE), Temperatura, Oxigênio dissolvido (OD), Cloreto, Brometo, Fluoreto, Fosfato, Nitrito, Nitrato e Sulfato. Os mapas caracterizam-se por isolinhas que correspondem ao mesmo teor do parâmetro analisado, separadas em classes, conforme intervalos acrescidos de desvios padrões dependendo da amplitude do parâmetro em questão. Estes mapas foram feitos através da ferramenta *Spatial Analyst*, interpolando os valores com o método do inverso do quadrado da distância (*IDW-Inverse Distance Weight*). O método *IDW* de interpolação utilizado parte do princípio de que quanto maior for a distância de um ponto em relação ao outro menor deverá ser a correlação entre seus valores. Os mapas de teores dos parâmetros físicos-químicos e dos sete ânions estão no Anexo II do trabalho.

5.2.2.4 Delimitação de Bacias de drenagem

Para a extração das drenagens a partir do MDE foi necessário seguir algumas etapas. Essas etapas foram efetuadas com o uso de algumas ferramentas disponíveis no *software* utilizado. Cada etapa gerou um arquivo que foi usado nas etapas seguintes até que pudessem ser obtidos os arquivos com linhas representando as drenagens/cursos d'água e o de bacias delimitadas de forma automática dentro da área de trabalho a partir do SRTM inicial que gerou o MDE. Assim, as ferramentas de análise espacial relacionadas à hidrogeologia, foram usadas em cada passo desta fase de extração de drenagens, hierarquia dos canais de acordo com Strahler (1952), delimitação automática das bacias/microbacias de drenagem, permitindo dessa forma a construção de um banco de dados geográficos da área de estudo e aplicação dos atributos resultantes das coletas de campo e das análises laboratoriais.

5.2.4.1 Utilização do pacote de ferramentas de Hidrologia (*Spatial Analyst Tools: Hydrology*)

O pacote de ferramentas *ArcGis Hydrology*, disponível dentro da extensão *ArcTool Box* > *Spatial Analyst Tools*, permite desenvolver um conjunto de dados que coletivamente descreve um sistema de drenagem padrão para uma bacia, possibilitando a análise de um modelo digital de elevação onde são geradas informações como: direção de fluxo, fluxo acumulado,

hierarquização dos canais fluviais e a delimitação da bacia hidrográfica (Ramme & Krüger 2007). Alguns dados podem ser representados em formato vetorial, como, por exemplo, as bacias e as linhas de drenagem (rios).

Outra funcionalidade do módulo *Hydrology* é a possibilidade de utilizar atributos dos dados gerados para estudo de modelos hidrológicos. Na Figura 25 é ilustrado o fluxograma das etapas de delimitação das drenagens e bacias, usando o módulo *Hydrology*. O pré-processamento do terreno, a delimitação da bacia hidrográfica, e a aplicação dos atributos foram as etapas utilizadas com esse pacote de ferramentas do *ArcGis 9.3* e as ferramentas que foram usadas assim como os arquivos gerados a partir delas estão descritos abaixo.

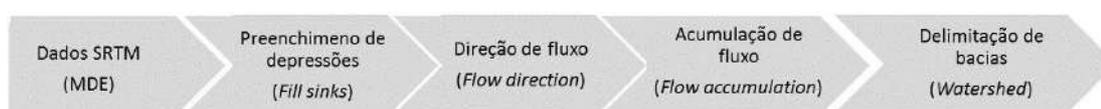


Figura 32 - Fluxograma das etapas de delimitação de bacias hidrográficas com o pacote *Hydrology*

a) *Fill (Arquivo com depressões preenchidas)*

As falhas no MDE sucedidas dos dados de SRTM podem ser chamadas de “sinks” que, segundo Mendes & Cerilo (2001), caracterizam-se por áreas rodeadas por elevações com valores de cotas superiores, semelhantes a uma depressão, e são considerados empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa.

O preenchimento dessas pequenas depressões é o passo da metodologia que confere a consistência da drenagem (que será gerada a partir do MDE), eliminando possíveis áreas de sumidouros que ocasionam retenção de fluxo. Para que sejam minimizados os erros, o arquivo deverá passar por um processo de preenchimento de depressões de certa forma que fossem removidas pequenas imperfeições nos dados (Fig. 26). A partir de uma ferramenta que realiza uma espécie de varredura de superfície, o comando *Fill* analisa a existência de depressões e áreas planas nos MDE (Dias *et al.*, 2004), que possibilitam a geração de mapas de direção de fluxo com inconsistências e faz o preenchimento destes espaços.

O arquivo de entrada é um arquivo que representa uma superfície contínua (*input surface raster*) e o arquivo de saída (*output surface raster*) é o MDE com depressões preenchidas e é automaticamente adicionado na sua área de trabalho e tem aparência semelhante ao MDE de entrada. O arquivo resultante deste processo deverá ser salvo para se gerar o mapa de direção de fluxo consistente.

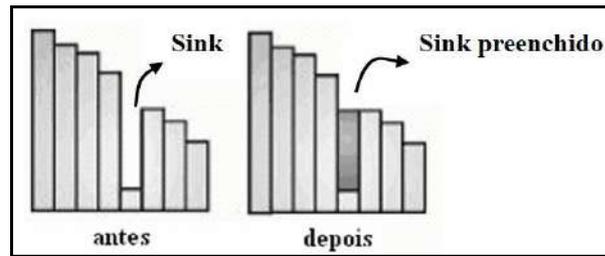


Figura 33 - Preenchimento de depressões no MDE. (Fonte: Alves Sobrinho *et al.*, 2010)

b) *Direção de fluxo (Flow direction)*

Com o MDE no formato GRID e as depressões corrigidas, foi possível gerar os mapas contendo as direções de fluxo, através do módulo de análise hidrológica do SIG ArcGis. O cálculo da direção de escoamento foi realizado através do comando *Flow direction*, que determina a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos. A distância entre dois pixels é medida a partir do centro de cada célula. A partir de uma célula central envolvida por oito células vizinhas, a direção do fluxo da célula central terá que se deslocar para somente uma célula vizinha que apresentar a maior declividade em relação às outras, também chamado de método D8 (determinístico de 8 células vizinhas. Fig. 27).

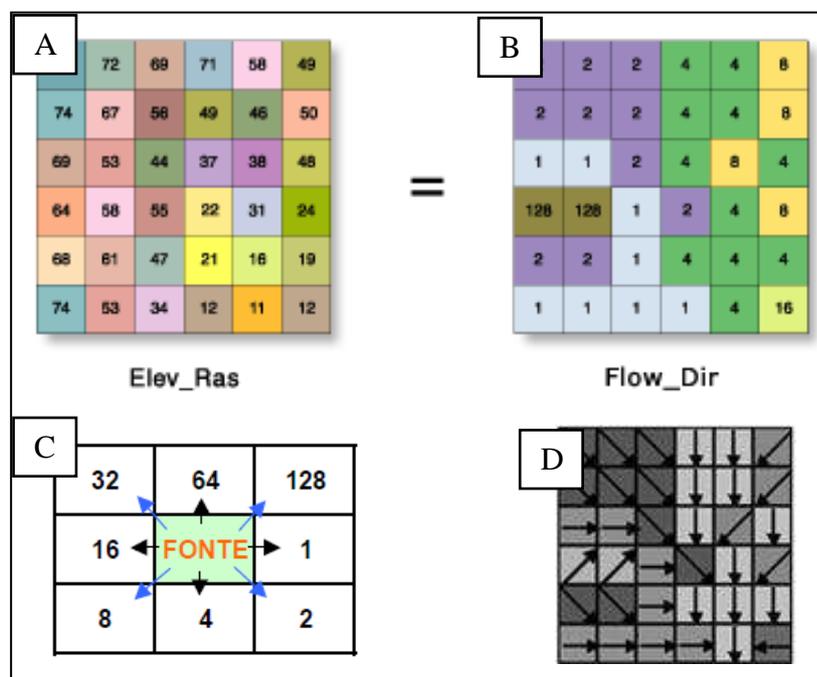


Figura 27 - A= Elevação do *raster*. B= Direção de escoamento pelo método D8, com a ferramenta *Flow direction*. C= codificação com os números representando as direções, a partir do leste, representadas em potências de dois. D= Representação física do mapa de direção de fluxo com setas direcionais (fonte: A e B- ESRI, 2006. C- Rammé & Kruger, 2007 e D Medeiros *et al.*, 2009).

Nos *softwares* de SIG, as codificações das células são definidas por potências de dois, definidas a partir de Leste, no sentido horário, considerando apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do MDE (64 N; 32 NW; 128 NE; 1 E; 2 SE; 4 S; 8 SW; 16 O), como exemplificado na Figura 27. Ao final desse processo foi obtido um arquivo que representa a grade de direção de fluxo, que demonstra o caminho da água na superfície. (Fig. 28)

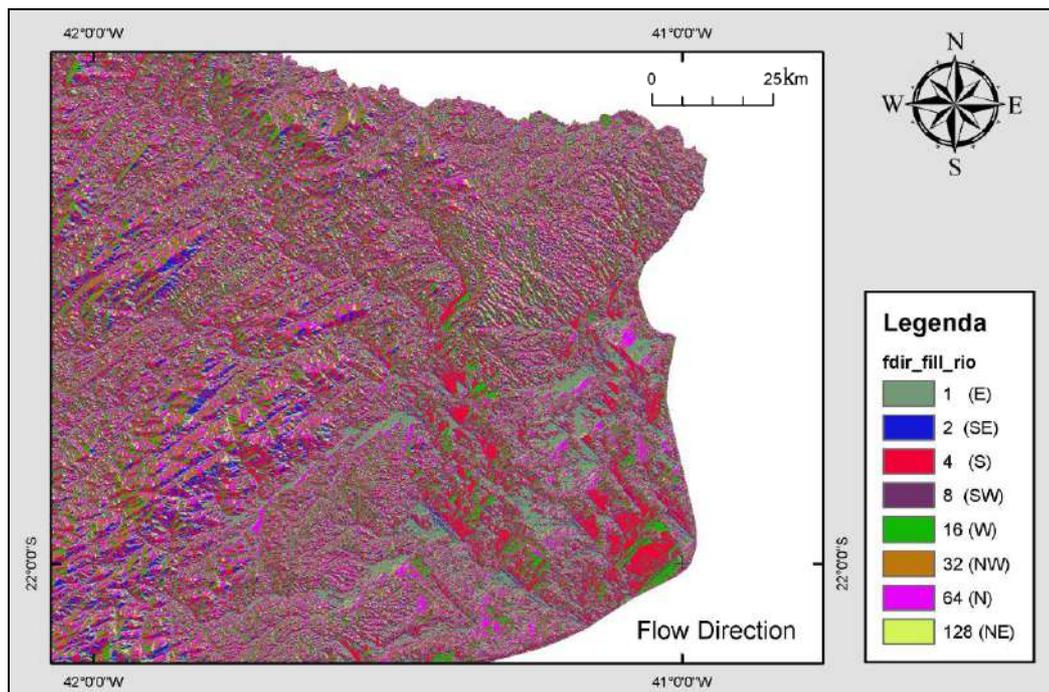


Figura 34 - Mapa de direção de fluxo no baixo curso do rio Paraíba do Sul. As cores indicam as oito direções de escoamento

c) Acumulação de fluxo (*Flow Accumulation*)

Nessa etapa do geoprocessamento é executada a acumulação do fluxo por célula e tem como princípio analisar a área de captação (área de drenagem) em quantidade de células que estão a montante de um dado ponto, formando dessa maneira os rios (Rammé & Kruger, 2007). O mapa de acumulação de fluxo (*output raster*), criado a partir do mapa de direção de fluxo (*input raster*), registra o número de células que drenam para cada célula do mapa (Fig. 29), constituindo então, a medida de quanto à jusante está a célula em relação à nascente de água (Dias *et al.*, 2004; ESRI, 2006). As células com valores altos são áreas de concentração de fluxo (canais de fluxo), permitindo desta forma identificar os canais de drenagem e as regiões de

altitudes mais elevadas dentro da bacia hidrográfica, representadas por células com valores zero, as quais definem a borda da bacia (ESRI, 2006).

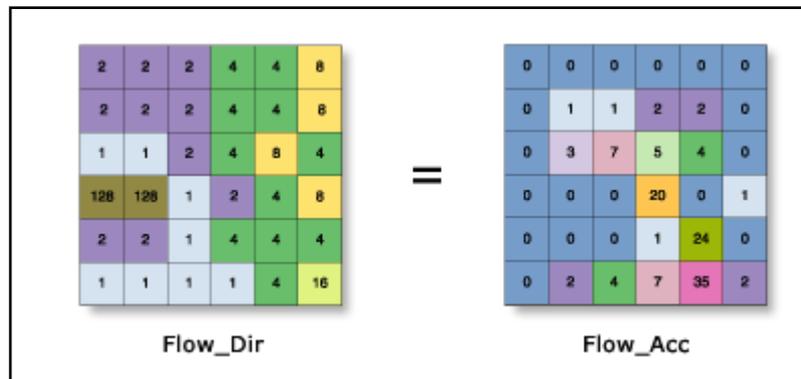


Figura 35 - Quadro esquemático de acumulação de fluxo - os valores na figura da esquerda representando o número de células que drenam para cada célula do mapa (Fonte: ESRI, 2006).

Ao final tem-se um arquivo onde estão representadas células com acúmulo de fluxo (Fig. 30) muito alto (áreas de fluxo concentrado), e pode ser usado para identificação de canais de fluxo.

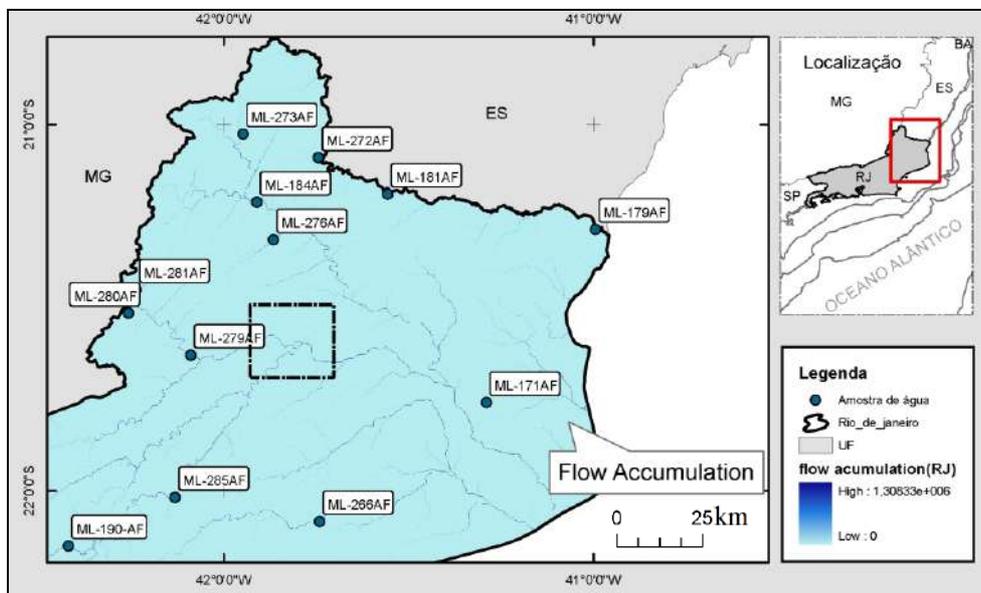


Figura 36 - Mapa de acumulação de fluxo no baixo curso do rio Paraíba do Sul.

d) Reclassificação (Reclassify)

Após a elaboração do mapa de acumulação de fluxo, este passou por uma etapa de reclassificação de valores. Essa reclassificação da superfície de acumulação é uma forma de converter os dados iniciais em informações mais úteis para uma análise adequada.

Ao reclassificar uma superfície define-se uma gama de valores iguais a um único valor, de forma que a áreas com células acima de um dado valor, ou entre dois valores críticos, é dado um código, e a outras áreas são dadas outros valores, ou, dividindo a superfície em um determinado número de classes, usado para reduzir o numero de categorias de saída (ESRI, 2006). O método foi utilizado para reclassificar o *raster* de acumulação de fluxo em várias classes, onde cada classe representa um intervalo com determinado número de células de acumulação de fluxo.

e) Ordem dos canais (Stream order)

A hierarquização da rede fluvial consiste no procedimento de decompor em segmentos os canais fluviais, visando estabelecer a classificação dos mesmos em relação à totalidade de canais da bacia hidrográfica (Cristofolletti, 1980). A importância da utilização desta hierarquia é tornar mais objetiva a análise da bacia, auxiliando na seleção de bacias e sub-bacias mais representativas do ponto de vista físico (Coelho, 2007).

Um sistema muito utilizado foi introduzido por Strahler (1952), em que os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. A partir da confluência de dois canais de primeira ordem surge um canal de segunda ordem; com o mesmo processo os canais de terceira ordem da confluência de dois canais de segunda ordem, e assim sucessivamente (Silva & Zaidan, 2004). Ao final obteve-se um arquivo que representa a ordem dos canais (Fig. 31) a partir das drenagens geradas nas etapas anteriores com o MDE inicial como arquivo de entrada.

f) Delimitação de Bacias de drenagem (Watershed)

Para delimitar as bacias hidrográficas específicas a partir de pontos de coleta de água fluvial, foi selecionada a extensão *Spatial Analyst Tools>Hydrology>Watershed*. Em *input flow direction*, selecionado o *raster* de direção de fluxo, em *input raster or feature pour point data*, selecionado o arquivo *raster* contendo os pontos de coleta de água fluvial, gerado com uso do

Spatial Analyst Tools>*Hydrology*>*Snap pour Point*, que possibilitou evitar que fossem geradas pequenas bacias hidrográficas onde não foram coletadas água fluvial. Ao fim do processo obtem-se um arquivo *raster* que contém as bacias geradas pelo *watershed* usando somente pontos onde foi realizada amostragem de água (Fig. 32).

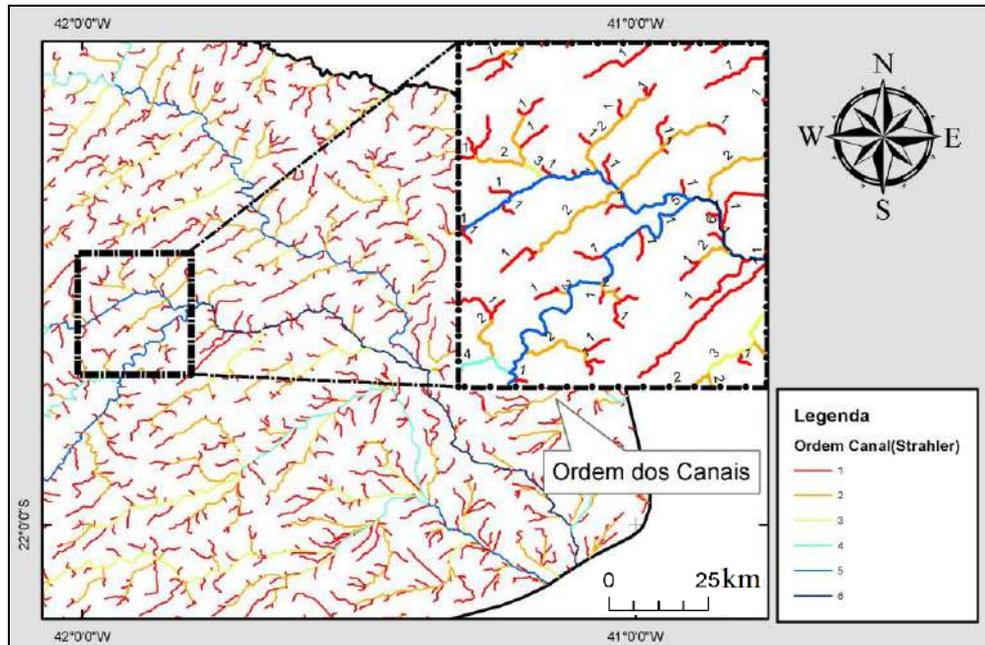


Figura 37 - Ordem dos canais segundo critério de Strahler

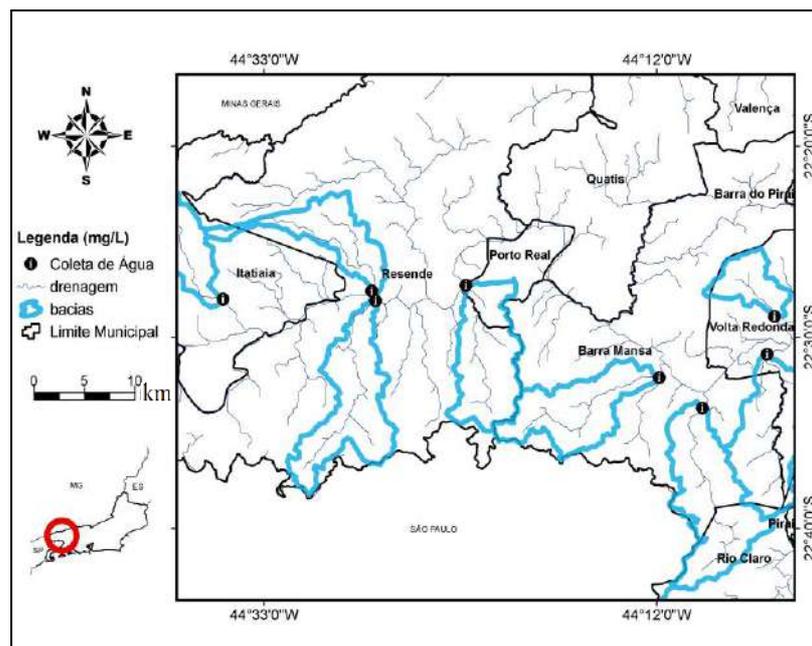


Figura 38 - Bacias de drenagem geradas com o Arcgis 9.3 para os pontos onde foi feita coleta de água fluvial.

6. RESULTADOS

6.1 Parâmetros físico-químicos

6.1.1 pH

Verifica-se que as águas coletadas antes de 12/01/2011, já sob influência das chuvas de verão, apresentaram valores de pH em determinada faixa (6,50 – 7,84; Fig. 33 e 34). Porém, quando se observa os valores de pH para as águas fluviais coletadas após 11/01/2011, quando as chuvas se intensificaram (Fig. 4 a 8), nota-se um aumento: o valor mais baixo foi de 6,61 no rio estado com Minas Gerais, na margem carioca onde o rio atravessa o município de Além Paraíba. Esses valores e a média dos valores de 7,67 mostram as águas fluviais de quase todo estado mais alcalinas.

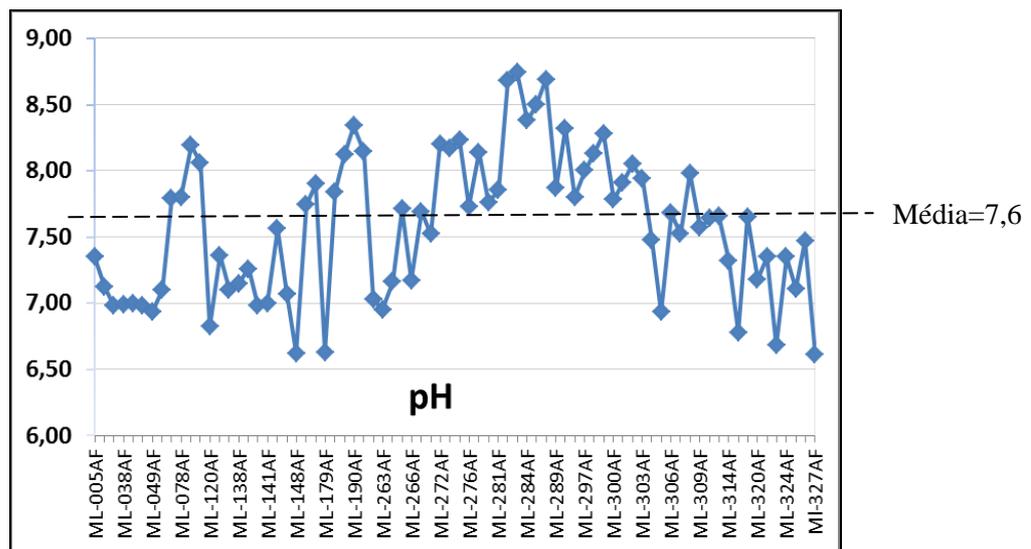


Figura 39 - Gráfico mostrando os valores de pH para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

De uma forma geral, verifica-se, entretanto, que nos rios que cortam a região litorânea o pH é sistematicamente mais baixo do que nas águas dos rios que cortam a região serrana (Anexo II). Pontualmente, verifica-se também uma diminuição do pH nas águas dos rios que cortam a região de Volta Redonda, Resende e Barra Mansa.

Esses pontos que mostram valores de pH mais baixo estão associados às regiões de maior densidade demográfica no estado do Rio de Janeiro, tanto na área urbana quanto na rural, cujos rios recebem em seus corpos aquosos resíduos domésticos, industriais e agrícolas, sugerindo que

o pH pode vir a ser um parâmetro indicativo de poluição. Enfatiza-se, porém, a necessidade de análise combinada com outros parâmetros químicos a fim de confirmação.

6.1.2 Condutividade Elétrica (C.E)

Os valores de condutividade elétrica para o período de 05/01 a 11/01/2011 apresentaram o mínimo de 29,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio São João (ML267AF) e o máximo de 872 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Guaraí (ML-050AF) e média 229,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 35).

Os maiores valores para condutividade elétrica foram de 6.643 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Suruí (ML-030AF), 1059 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Areia da Lapa em Angra dos Reis (ML-327AF); 872,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Guaraí em Magé (ML-050AF); 711,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Una em Tamoios (distrito de Cabo Frio); 655 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no rio Limão em Araruama (ML-264AF) nas amostras coletadas depois do dia 11/01/2011. Para esse período os menores valores foram: 6,87 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ML-061AF) no Rio Piraí em Piraí; 11,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ML-308-AF) no rio Bonito em Itatiaia; 25,46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ML-288AF) no rio Santana em Miguel Pereira; 17,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ML-322AF) no rio Bracuí em Angra dos Reis. A média dos valores foi de 135,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 36).

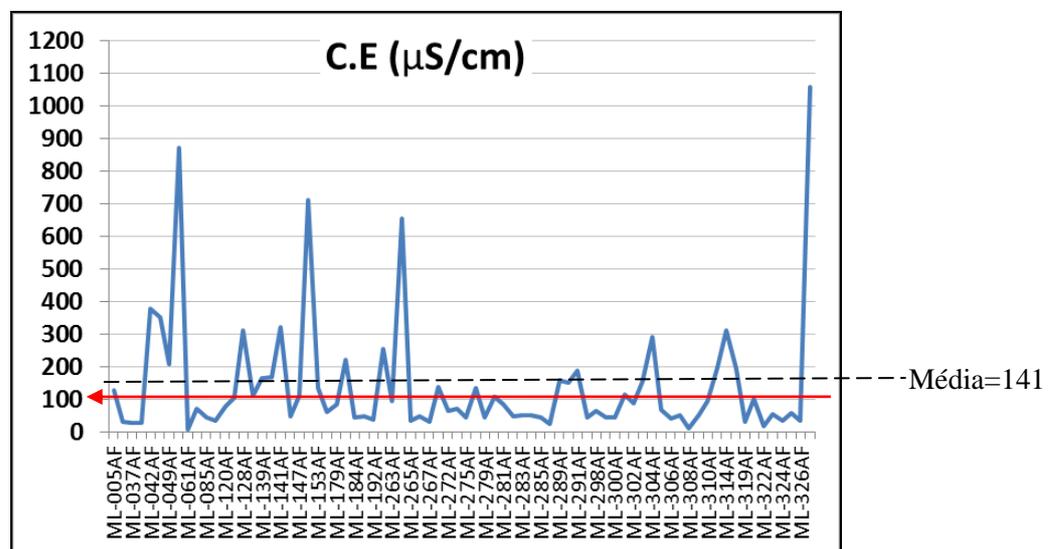


Figura 40 - Gráfico mostrando os valores de condutividade para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.* O rio Suruí não está no gráfico

O rio Suruí corta o perímetro urbano do município de Magé, do qual recebe esgotos, o que provavelmente confere a coloração escura das águas, como também o odor desagradável; o rio

Areia da Lapa, que também corta o perímetro urbano em Angra dos Reis, apresentou alto valor de condutividade elétrica, provavelmente ligado à atividade antrópica. Na maioria das trinta e duas amostras analisadas, os valores ficaram abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e segundo o CETESB valores de condutividade acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em geral, indicam ambientes impactados, sugerindo que a maioria das águas fluviais do estado para este parâmetro não estão sob condição de impacto.

6.1.3 Temperatura

Os valores mais altos de temperatura entre os dias 05/01 e 11/01 foram: 31,1°C (ML-268AF) no rio Caceribu em Tanguá, e 30,9°C (ML-145AF) no rio Capivari em Silva Jardim, enquanto que o menor valor foi 25,2°C (ML-139AF) no rio Seco em Saquarema. A média dos valores para o período foi de 27,6°C. (Fig. 37).

Após o dia 11/01/2011 os máximos foram 34°C (ML-311AF) no rio Barra Mansa, em Barra Mansa; 32°C (ML-106AF) no rio Cachimbal, em Arrozal; 31,4°C (ML-181AF) – (Fig.38), no córrego da Liberdade em Santo Eduardo (distrito de Campos dos Goytacazes). Os menores valores foram 21,3°C no rio Bonito em Itatiaia, e 21,4°C no rio Negro em Duas Barras e a média para o período foi 27,4°C.

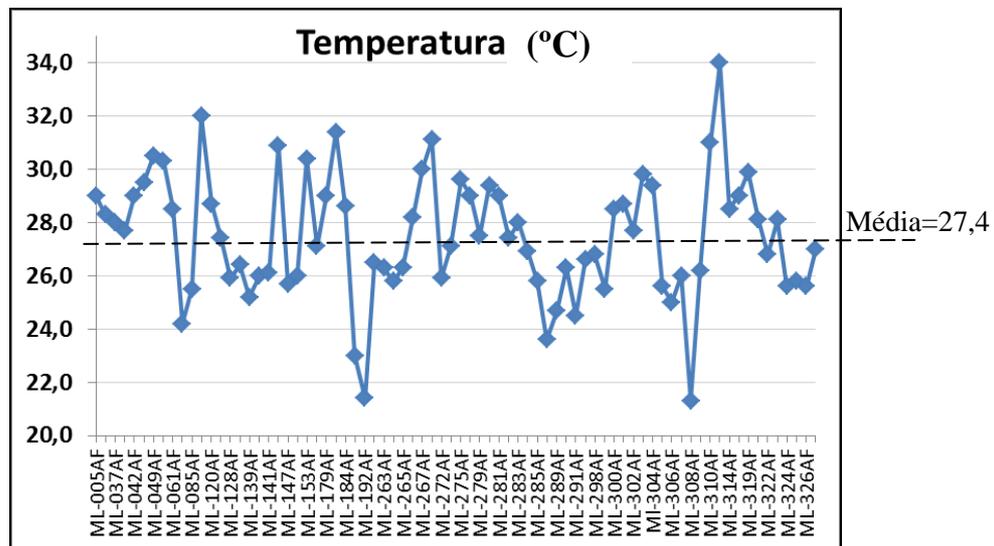


Figura 41 - Gráfico mostrando os valores de temperatura para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

Para esse parâmetro analisado, nota-se um leve aumento dos máximos valores coletados após o dia 11/01/2011, que evidenciam águas mais quentes, podendo essa elevação ser devida a um processo natural, já que historicamente o verão é o período mais quente do ano.

6.1.4 Oxigênio dissolvido (OD)

Em relação às amostras coletadas, observou-se máximo de 7,49 mg/L (ML-128AF), mínimo de 3,37 mg/L (ML-140AF) e média de 5,32 mg/L para os valores de OD entre 05/01 a 11/01/2011. Após o dia 11/11/2011 o máximo foi 7,34 mg/L (ML-305AF) e mínimo 0,72 mg/L (ML304AF), com média de 5,26 mg/L. Quando comparadas os valores de OD para as águas fluviais coletadas antes e após 11/01/2011 verifica-se que antes do dia 11/01, 35% das amostras apresentaram valores entre 5 e 6 mg/L, e após o dia 11/01, 54,5% os valores estão entre 5 e 6 mg/L - Fig 39 e 40.

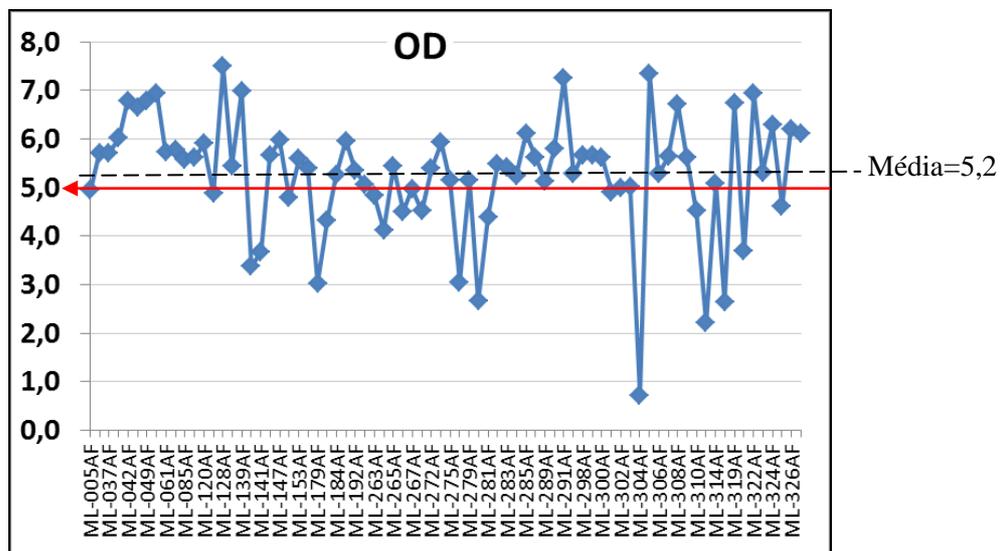


Figura 42 - Gráfico mostrando os valores de OD para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

O valor mais baixo (0,74 mg/L) foi registrado no rio Brandão, no centro de Volta Redonda, agora transformado em valão. O rio Brandão (Fig. 41 e 42) é um dos afluentes da margem direita do rio Paraíba do Sul, que tem registrado nos últimos anos problemas relacionados ao desmatamento e erosão das encostas, desestabilização e erosão das margens intensificando o transporte sólido, aporte de esgoto doméstico, entulhos de construções, despejo de lixo urbanos e poluentes químicos industriais, os quais conjuntamente contribuem para acelerar o processo de assoreamento e poluição das águas (IPPUVR, 2000).

Segundo a resolução 357/05 do CONAMA, em relação ao oxigênio dissolvido, as águas analisadas entre 05/01 a 11/01/2011 podem ser enquadradas em águas doces do tipo três, por apresentarem em 47% das amostras OD entre 4 e 5 mg/L e água doce do tipo 4 as águas de dois rios (rio Mole em Saquarema e rio das Moças em Araruama) com OD entre 2 e 4 mg/L.

Nas amostras coletadas após 11/01/2011, em relação ao OD e a resolução em questão, as águas fluviais, podem ser enquadradas em águas doces do tipo dois com valores de OD entre 5 e 6 mg/L e águas doces tipo três (os rios Camorim, em Angra dos Reis, Itabapoana no município homônimo, e o córrego São Domingos em Itabapoana foram enquadrados nesta classe) com OD entre 4 e 5 mg/L.



Figura 43 - Núcleo urbano desenvolvido em torno do rio Brandão. A coleta de água fluvial foi realizada sobre a ponte no centro ao fundo da foto.



Figura 44 - Parte do sistema de esgoto sendo despejado no rio Brandão. fonte: Rodrigues (2008).

6.2 Constituintes Iônicos

6.2.1 Cloreto (Cl)

Os dados analíticos referentes ao ânion cloreto mostraram valores variando entre 0,29 e 307 mg/L, com média 18,63 mg/L. Os maiores valores foram registrados nos rios de Areia do Pontal em Angra dos Reis (ML-327AF) e Guaraí em Magé (ML-050-AF), com 307 mg/L e 230mg/L respectivamente, enquanto que os valores mais baixos nos rios Campo Belo, (ML-308AF em Itatiaia) e Bonito (ML-085AF em Conservatória), com 0,29 mg/L e 0,85 mg/L respectivamente (Fig. 43 e 44).

O limite para o íon em questão é de 250 mg/L, estabelecido pela resolução 357/2005 do CONAMA.

A amostra ML-050AF, do rio Guaraí, em Magé, com concentração de 230 mg/L, embora não tenha valor superior ao permitido, obteve valor próximo e merece observação, pois se encontra no litoral da baía de Guanabara. Esta região é ocupada por núcleos urbanos, em região com baixa aptidão agrícola, de potencial hidrogeológico nulo. Situa-se em planície flúvio-

marinha intermarés constituídas por sedimentos quaternários, argilosos, ricos em matéria orgânica, onde predominam solos de mangue, que deve ter um monitoramento mais adequado, pois se trata de um tipo de ecossistema costeiro de elevada importância para reprodução de espécies (fauna e flora), que devem ser preservadas.

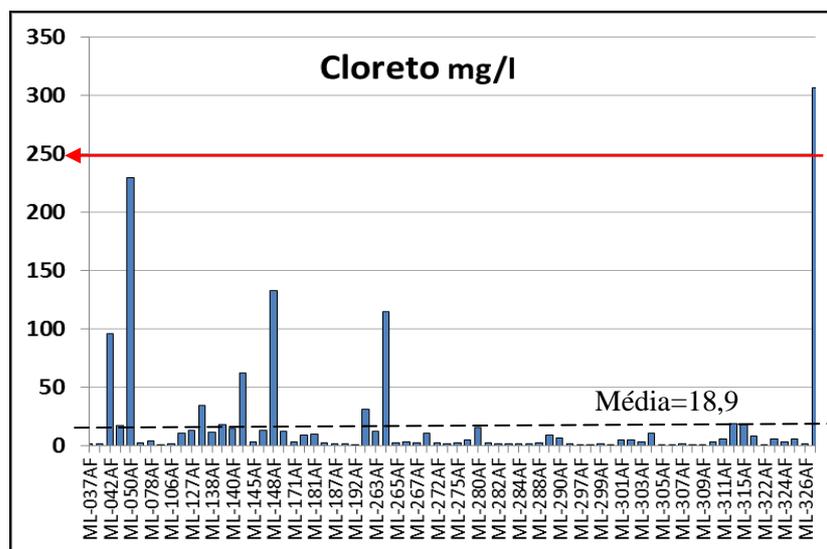


Figura 45 - Gráfico mostrando os valores de cloreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

O valor 307 mg/L obtido no dia 30/01/2011 no rio Areia do Pontal em Angra dos Reis (ML-327AF), que atravessa uma região de área urbana, teve valor superior ao estabelecido pela resolução citada acima. O rio em questão atravessa duas unidades geoambientais: baixada e mangue. O mangue tem as mesmas características descritas anteriormente, e as baixadas são regiões de planícies constituídas por sedimentos quaternários, e solos de baixa fertilidade natural. São terrenos inundáveis nas margens dos rios e atualmente as terras estão ocupadas por pastagens e áreas urbanas, subordinadamente por pequenos fragmentos de mata. Como a região apresenta aptidão agrícola de terras restrita para lavouras, regular para pastagem plantada e o lençol freático elevado passível de contaminação, a ocorrência de águas subterrâneas salinizadas pela proximidade marinha e possível intrusão marinha superficial, dados os baixos gradientes locais, pode ser uma das razões para o valor de cloreto elevado neste ponto.

Um ponto em particular foi tratado como uma anomalia com valor muito elevado quando comparado aos demais valores de concentração de cloreto. Trata-se do ponto ML-319AF, coletado no rio da Lapa (Mangaratiba) com 10.100 mg/L de Cl^- , e não foi considerado para o tratamento estatístico pois desloca o valor da média por apresentar um máximo muito superior à distribuição do íon em questão.

A região que o rio atravessa não tem aptidão agrícola, ou quando tem é restrita para culturas de ciclo longo, indicada para preservação de fauna e flora. Esse ponto de valor mais elevado situado na Planície Litorânea indica a interface do ambiente fluvial com o marinho rico em sais, novamente a água coletada pode ter tido a influência de maré enchente, com a cunha marinha penetrando rio adentro.

6.2.2 Brometo (Br-)

Os valores do íon brometo estiveram entre 0,01 mg/L e 0,94 mg/L, com média de 0,067 mg/L. Os valores de 0,01 foram registrados em 27 rios, e o valor de 0,94 mg/L no rio da Areia do Pontal em Mangaratiba, no dia 30/01/2011 (Fig. 45, 46 e 47). A resolução utilizada neste trabalho não faz referência a limite de concentração de brometo para as águas fluviais.

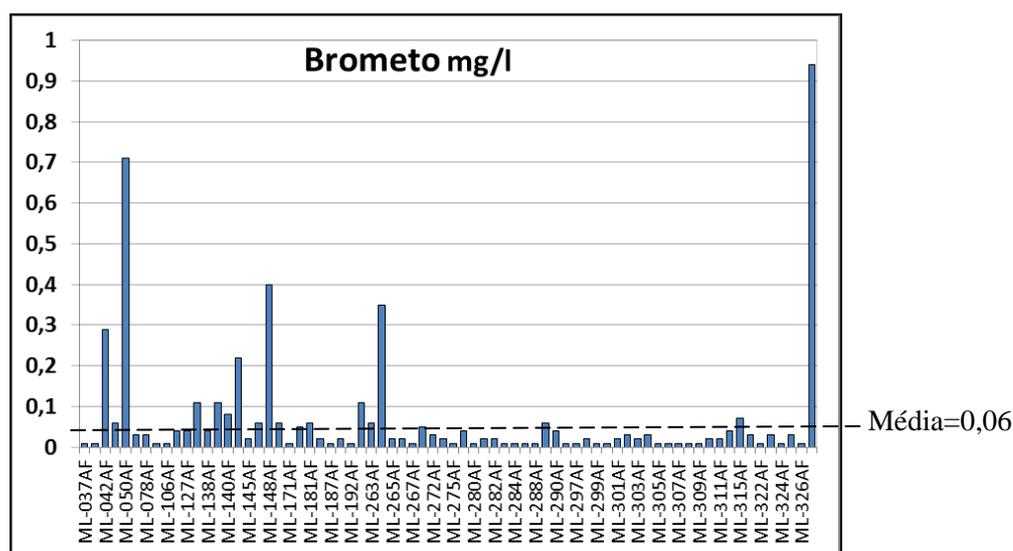


Figura 46 - Gráfico mostrando a distribuição dos valores de brometo para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro

O ponto ML-327AF, com 0,94 mg/L de brometo (Fig. 48), obtido no dia 30/01/2011 no rio de Areia do Pontal em Angra dos Reis, atravessa uma região de área urbana, com agricultura restrita para lavoura e regular para pastagem plantada. Como o lençol freático é elevado, passível de contaminação, as ocorrências de águas subterrâneas salinizadas podem estar influenciando as concentrações de brometo no rio em questão.

O rio Guaraí em Magé (ML-050AF) apresenta um valor de brometo relativamente alto, de 0,71mg/L. Esse ponto foi coletado no dia 09/01/2011 antes das chuvas intensas, podendo,

assim, o valor de brometo estar relacionado com a interface do ambiente fluvial com o marinho mais rico em brometos.

A principal anomalia positiva identificada foi o ponto ML-0319AF, com 38,1 mg/L no rio da Lapa (Mangaratiba), porém não foi representado nos trabalhos estatísticos e mapas de teoresteores, pois este valor discrepante em relação aos demais modifica a distribuição dos valores. As razões já foram apontadas anteriormente.

6.2.7 Sulfato

As setenta e três amostras de água fluvial apresentaram média dos valores de sulfato igual a 6,90 mg/L, sendo o mínimo 0,22 mg/L (ML-309AF) no rio Salto, em Engenheiro Passos, e máximo 126 mg/L (ML-148AF) no rio Una em Tamoios (distrito de Cabo Frio), coletada no dia 06/01/2011. Outros altos valores foram registrados no rio da Areia do Pontal (ML-327AF) em Mangaratiba e no rio Guaraí em Magé (ML-050AF), respectivamente com 41,2 mg/L e 39,7 mg/L. Tratando separadamente as amostras coletadas antes e depois do dia 11/01/2011, nota-se que a média de 15,4 mg/L antes do dia 11/01 é superior a média 3,85 mg/L depois do dia 11/01 (Fig. 47A e 47B).

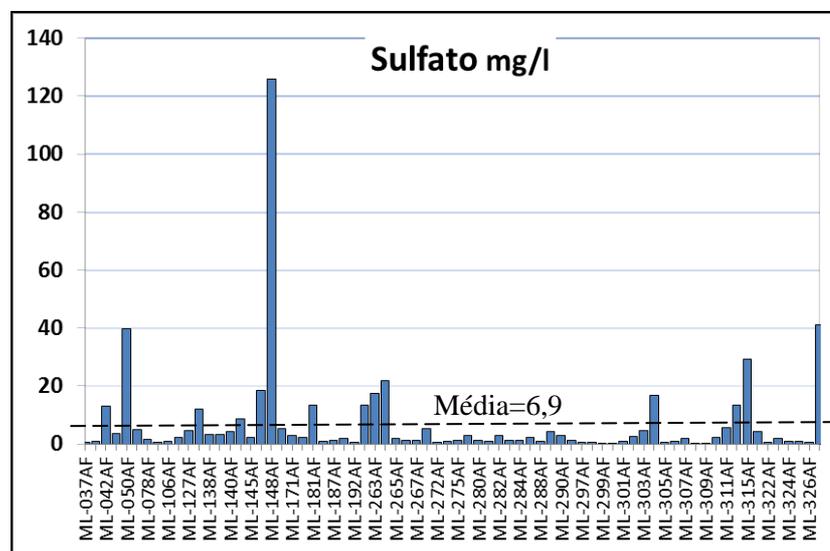


Figura 47 Gráfico mostrando os valores de nitrito para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

Apenas uma das amostras de água fluvial apresentou concentração do ânion sulfato superior ao valor estabelecido pelo CONAMA de 250mg/L. A amostra ML-319AF coletada no rio Lapa no município de Mangaratiba (Fig. 71) apresentou 1.880 mg/L de sulfato, mas não foi considerada no tratamento estatístico, por representar um valor anômalo.



Figura 48 - Foto das margens do rio da Lapa em Mangaratiba, onde a concentração de sulfato foi a mais elevada.

Os pontos ML-319AF, ML-050AF e ML-327AF na região litorânea são interpretados como tendo uma influência marinha nos rios como resultado de entrada de cunha salina durante o período de estiagem.

Observa-se que os valores elevados de sulfato de um modo geral estão associados a áreas próximas ao litoral, evidenciando a influência marinha sobre essa ocorrência.

6.2.3 Fluoreto (F⁻)

Os dados analíticos referentes ao ânion fluoreto mostraram valores variando entre 0,04 e 0,87 mg/L, com média 0,14 mg/L. O máximo valor foi 0,87 mg/L no rio da Lapa em Mangaratiba (ML-319AF). Outros valores maiores foram registrados nos rios Bananal em Barra Mansa (ML-310AF), e Brandão em Volta Redonda (ML-304-AF), com 0,62 mg/L e 0,35 mg/L respectivamente, e no córrego da Liberdade em Bom Jesus do Itabapoana (ML-181AF) com 0,45 mg/L. Já os valores mais baixos foram registrados nos rios Bracuí, (ML-322AF em Angra dos Reis), Campo Belo (ML-308AF em Itatiaia- Fig. 51), Bonito (ML-085AF em Conservatória), Barra Grande (ML-037AF em Angra dos Reis) e Ariró (ML-038AF em Angra dos Reis), com 0,04 mg/L.

Na Figura 49 ilustram-se os diferentes valores para o íon fluoreto em histograma.

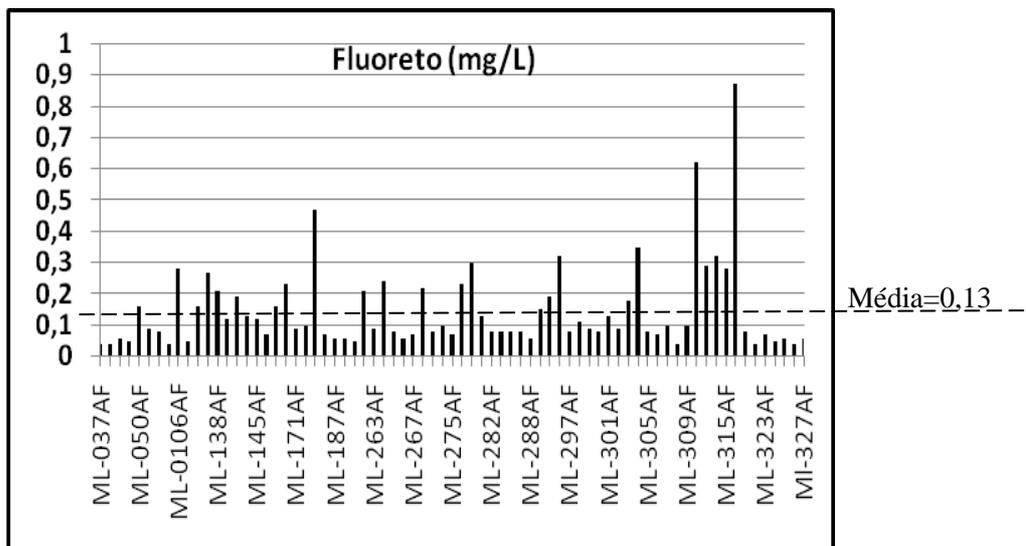


Figura 49 - - Gráfico mostrando os valores de fluoreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

O valor máximo permitido pela resolução 357/2005 do CONAMA é de 1,4 mg/L, e nenhuma resposta analítica da concentração de fluoreto teve valor acima de 1mg/L (Fig. 50).

Segundo o mapa geoambiental da CPRM para o estado do Rio de Janeiro (Dantas *et al*, 2000), o rio da Lapa atravessa a unidade ambiental de escarpas serranas, sustentadas por granitos, granodioritos, paragnaisses, ortognaisses migmatíticos e charnockitos, e solos, em geral, pouco espessos e de baixa fertilidade. Esses grupos de litologias são compostos por rochas que contêm minerais portadores de flúor, como hornblendas, micas, apatitas e fluoritas. Dentre essas rochas predominam ortognaisses bandados, intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfíbolito), hornblenda-biotita-granitóide de composição cálcioalcalina, e veios e ou bolsões de leucogranito tipo-S (Silva, 2001).

O rio Bananal e o rio Brandão, segundo Silva (2001), atravessam terrenos compostos de granada-biotita-sillimanita gnaisse quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios de composição granítica, (hornblenda)-biotita ortognaisse cálcio-alcalino de composição tonalítica a granítica, na fácies anfíbolito, localmente com enclaves de anfíbolito.

Os valores mais elevados de fluoreto podem ser atribuídos a esses grupos litológicos que contêm minerais portadores e podem servir como fontes naturais para a concentração desse íon nas águas dos rios que as atravessam. Esses rios embora com valores de fluoreto abaixo do permitido pelo CONAMA precisam de um estudo mais aprofundado para identificar a distribuição mais precisa e possíveis associações com doenças nos consumidores das águas, pois

a suscetibilidade individual varia largamente e não é possível dizer que exista um limite rígido de concentração de flúor na água, abaixo do qual doenças como a fluorose não se manifeste (Fejerskov *et al*, 1994).



Figura 50 - Águas cristalinas no rio Campo Belo em Itatiaia. Esse ponto é um dos mais baixos valores de fluoreto.

6.2.4 Fosfato

O fosfato variou de valores menores que 0,01 até um valor máximo de 1,63 mg/L no rio Ludegero em Maricá (ML-128AF). Esse máximo valor foi registrado no período de 05 a 11/01/2011 que apresentou média de 0,36 mg/L. Porém, quando se observa os valores de fosfato para as águas fluviais coletadas após 11/01/2011 nota-se que a média para o período é 0,14 mg/L e o máximo é 1,15 mg/L registrado no rio Brandão. Os diferentes valores de fosfato são mostrados nas Figuras 52 e 53.

A resolução n° 357 (CONAMA, 17/03/2005) considera os diferentes ambientes aquáticos e apresenta, para os rios das classes 1 e 2, teores máximos de Ptotal em ambientes lóticos igual a 0,100 mg/L. Os pontos de coleta de água referente aos rios indicados na Tabela 3 apresentam valores de fosfato acima do estabelecido pela resolução em questão.

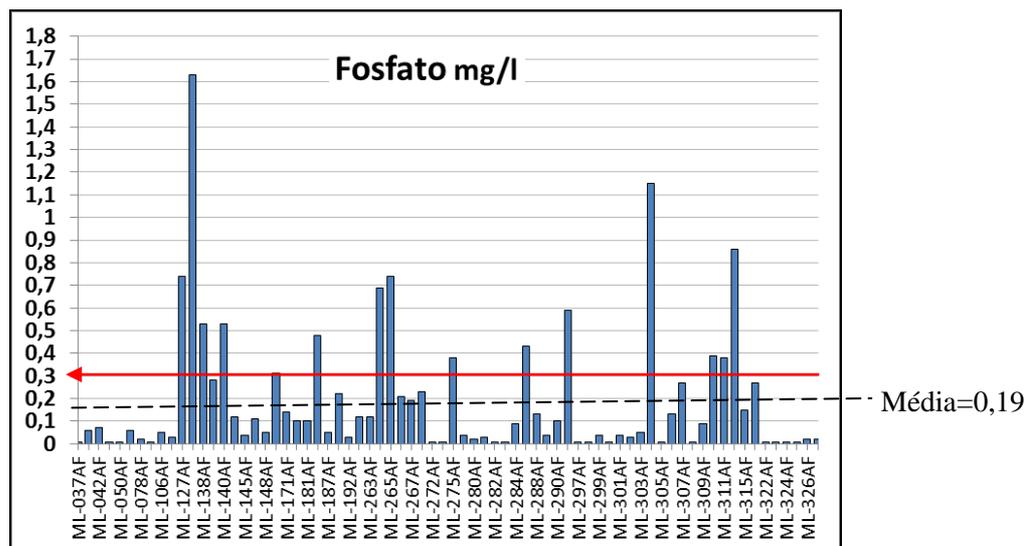


Figura 51 - Gráfico mostrando os valores de fluoreto para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

Tabela 5 - Pontos de água fluvial que apresentaram valores para o íon fosfato acima do limite estabelecido pela resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Ponto	Fosfato (mg/L)	Curso d'água	Localidade
ML-128AF	1,63	rio Ludegero	Maricá
ML-304AF	1,15	rio Brandão	Volta redonda (centro)
ML-314AF	0,86	rio Guandu Mirim	Itaguaí
ML-265AF	0,74	rio Macaé	Macaé
ML-127AF	0,74	rio Caranguejo	Maricá
ML-264AF	0,69	rio Limão	Araruama
ML-138AF	0,53	rio Tingui	Squarema
ML-140AF	0,53	rio Mole	Squarema
ML-184AF	0,48	rio Carangola	Itaperuna
ML-285AF	0,43	rio Grande	Trajano de Moraes
ML-310AF	0,39	rio Bananal	Barra Mansa
ML-311AF	0,38	rio Barra Mansa	Barra Mansa
ML-275AF	0,38	rio Muriaé	Itaperuna
ML-291AF	0,59	córrego do Maurício	Andrade Pinto
ML-153AF	0,31	rio Tanguá	Tanguá

Os rios que apresentaram os valores mais elevados em PO_4 podem ser divididos em três grupos de acordo com a fonte desse composto para essas águas.

O primeiro grupo é caracterizado por fontes relacionadas a resíduos sólidos e efluentes (rios Ludegero, Limão, Guandu Mirim, Barra Mansa, Bananal e Brandão). O segundo grupo é caracterizado por fontes relacionadas à atividade de pecuária (rios Caranguejo, Muriaé, e Córrego do Maurício) e o terceiro grupo pode está associado a fontes naturais e atividades agropecuárias (rio Tanguá).

A amostra ML-128AF foi coletada no rio Ludegero, próxima ao perímetro urbano de Maricá (Fig. 54). A bacia hidrográfica é contribuinte ao complexo lagunar de Maricá e o ponto onde foi realizada a coleta situa-se em um trecho do rio circundado por aglomerado urbano e vegetação contínua nas margens. A água escura apresentava coloração amarronzada e portava muitos restos vegetais e resíduos sólidos (Fig. 55 e 56). Neste município as principais atividades econômicas são a agro-pastoril e indústrias de pequeno porte.



Figura 52 - Ponte de acesso ao rio Ludegero e a ocupação urbana em suas margens.



Figura 53 - Aspecto da água no ponto de coleta do rio Ludegero.



Figura 54 - Coloração da água do rio Ludegero

Os rios Limão, Guandu Mirim, Barra Mansa, Bananal e Brandão encontram-se em zonas urbanas e ,no momento da coleta, foram observadas águas aparentemente sujas, com odor desagradável, presença de resíduos sólidos e líquidos e lixo nas margens, evidenciando atividade antrópica recente (Fig. 57).



Figura 55 - Local de coleta da amostra do rio Bananal em Barra Mansa. Observam-se construções à beira do rio, com acúmulo de entulho e lixo na margem do curso d'água, sem consciência ambiental.

Como não existem fontes naturais de fosfato nessas regiões, essa alta concentração sugere contaminação oriunda de ação antrópica por despejo de esgotos domésticos, dejetos de animais e fertilizantes. Esses pontos são exemplos de como as ações antrópicas podem estar

impactando o meio ambiente e possivelmente a saúde de pessoas que consomem água diretamente desses rios.

O rio Caranguejo apresenta águas claras e aparentemente limpas, sem resíduos e urbanização ao longo das suas margens, embora se verifique localizada atividade pecuária no seu entorno.

A água do rio Muriaé foi coletada em zona rural, tendo sido observadas criações de peixes próximas ao ponto de coleta.

A pecuária está relacionada a uma série de fatores que envolvem quantidade e qualidade de água. A demanda de água nesta atividade é enorme, seja na criação direta de animais ou na irrigação de culturas de ração (Hoekstra, 2003). As relações com a contaminação da água envolvem dejetos animais, fertilizantes e pesticidas usados nos cultivos das rações (IBGE, 2011), entretanto os efluentes podem vir a prejudicar o ecossistema se lançados no meio ambiente sem tratamento adequado.

Os valores de fosfato acima do permitido nesses rios podem estar relacionados ao manuseio inadequado de resíduos contendo fósforo associado às atividades que incluem criação de animais, que acabam servindo como fonte não natural de fosfato.

No momento da coleta de água do rio Tanguá se observou nas suas margens presença de animais, evidenciando atividade agropecuária. Localizadamente foi observada uma olaria ao lado do ponto de coleta, cujos resíduos podem contribuir de forma subordinada como fonte de fosfato (Fig. 58 e 59).

A atividade agropecuária e o fato de o rio situar-se próximo ao Maciço Alcalino Tanguá, que, por sua vez, contém minerais com fósforo em sua composição, podem estar contribuindo para as concentrações de fosfato no rio Tanguá.



Figura 56 - Foto retirada da ponte sobre o rio Tanguá, mostrando o seu entorno, e que o local da coleta foi em trecho afastado da zona urbana.

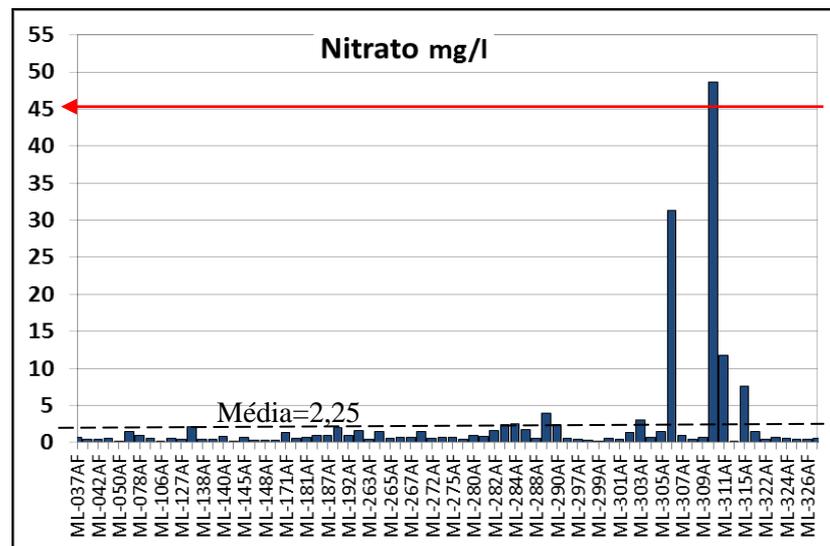


Figura 57 - Foto do ponto de coleta no rio Tanguá, onde localizadamente foi encontrada uma olaria (no fundo à esquerda da foto).

6.2.5 Nitrato

O máximo valor para o íon nitrato foi encontrado no rio Bananal em Barra Mansa (ML-310AF) com 48,7 mg/L, e o menor valor foi 0,08 mg/L no rio Guaraí em Conservatória (ML-299AF). O segundo e o terceiro maiores valores foram registrados nos rios Alambari em Resende e rio Barra Mansa no município homônimo, com 31,3 mg/L (ML-306AF) e 11,8 mg/L (ML-311AF), respectivamente. A média total dos valores foi de 2,22 mg/L.

Esses maiores valores de nitrato foram encontrados nas amostras de água coletadas após o dia 11/01/2011, enquanto que no período de 05 a 11/01/2011 as concentrações do íon nitrato não ultrapassaram 2,5 mg/L. Os diferentes valores de concentração de nitrato e os períodos de amostragem estão representados nas Figuras 60 e 61.



Os maiores valores para o íon nitrato foram registrados após o dia 11 de janeiro de 2011 e apresentam média dos valores de 2,75 mg/L, sendo superior a média de 0,75 mg/L dos dados coletados entre 05 e 11 de janeiro. Enquanto que na primeira parte da amostragem apenas um valor passou de 2 mg/L, nas amostras coletadas, após o dia 11 de janeiro os três maiores valores ultrapassam 10 mg/L, incluindo o valor máximo da concentração do íon em questão que ficou acima do limite estipulado pela Resolução n° 357 (CONAMA, 17/03/2005) de 45 mg/L de NO_3^- . Trata-se do ponto encontrado no rio Bananal em Barra Mansa (ML-310AF) com 48,7 mg/L.

As principais fontes de nitrato de origem antrópica para as águas são difusas, destacando-se a aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de outros rios contaminados, que em concentrações inadequadas indicam uma alteração do equilíbrio natural (CETESB).

O valor de 48,7 mg/L de NO_3^- encontrado no rio Bananal (Fig. 57), um dos afluentes que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, pode ser um desses indícios de influência antrópica já que originalmente a economia da cidade tinha por base a agropecuária, somado ao fato que no momento de coleta da amostra observou-se presença de construções à beira do rio, acúmulo de entulho e lixo na margem do curso d'água, evidenciando falta de consciência ambiental. A CETESB recomenda que em rios com concentrações acima de 45 mg/L de nitrato, como o caso do rio Bananal, o consumo de água deve ser interrompido e seja estudada a necessidade de tratamento específico da água ou de fonte alternativa para o abastecimento.

O rio Alambari, no trecho onde foi realizada a coleta, situa-se em zona industrial e observou-se a presença de despejo de sistemas de saneamento (esgoto). Esse tratamento inadequado de resíduos é relacionado ao alto valor de nitrato encontrado nesse rio, pois para a CETESB, a fim de executar sua ação de prevenção, concentrações de nitrato acima de 23 mg/L indicam uma alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica. A CETESB recomenda frequência anual de amostragem para rios com concentrações de 23 a 45 mg/L de nitrato, como o caso do rio Alambari (Fig. 42A e 42B).



Figura 58 - Trecho onde foi coletada água do rio Alambari, situado em zona urbana.



Figura 59 - Despejo de sistemas de saneamento nas margens do rio Alambari.

Apesar de no trecho de coleta de água do rio Barra Mansa ter-se observado condições semelhantes ao rio Bananal, tais como em zona urbana com habitações, despejo de rede de esgoto e resíduos sólidos nas suas margens (Fig. 64 e 65), o teor de nitrato é um pouco mais baixo, como acima relatado. Todavia, esses valores ainda que moderados, com a continuidade do uso inadequado das águas fluviais podem vir no futuro ter a sua qualidade comprometida. A CETESB recomenda frequência de amostragem de mais de um ano para rios com concentrações de nitrato abaixo de 23 mg/L, como o caso do rio Barra Mansa.

Os três rios com altos valores de nitrato estão situados no sul do estado e são afluentes do rio Paraíba do Sul (Fig. 66). Esses rios merecem atenção e estudo mais detalhado sobre suas características, já que o rio Paraíba do Sul é o principal rio do estado do Rio de Janeiro, tanto em termos econômicos quanto hidrológicos.



Figura 60 - Ponte sobre o rio Barra Mansa no município homônimo, mostrando que o trecho da coleta de água fluvial foi realizada em zona urbana.



Figura 61 - Ocupação Urbana e despejo de material sólido (lixo) na margem do rio Barra Mansa.

6.2.6 Nitrito

A média total dos valores para as análises de nitrito foi de 0,12 mg/L, com máximo de 4,4 mg/L no rio São João em Barra de São João- distrito de Casimiro de Abreu (ML-147AF em 05-01-2011) – Fig. 67, e mínimo de valores menores que 0,01 mg/L registrado em 49 rios, representando 67% do total das amostras. A média dos valores foi de 0,12mg/L. Sem o valor 4,4 a média fica em 0,06mg/L.

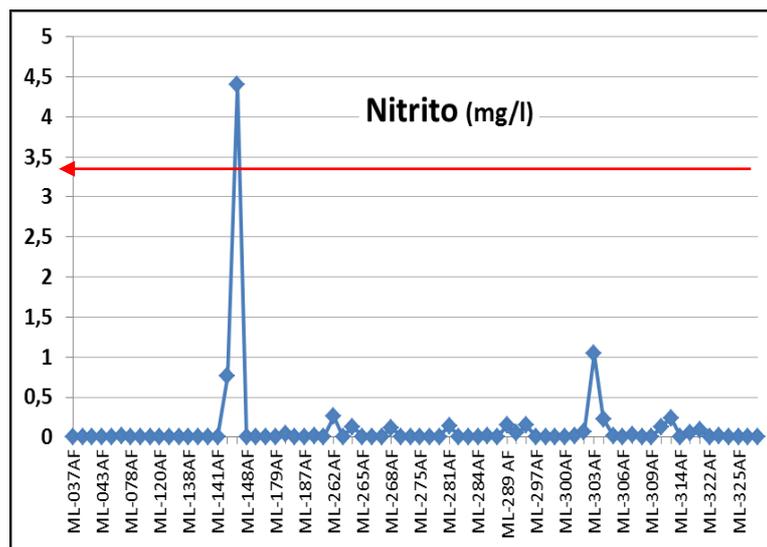


Figura 62 - Gráfico mostrando os valores de nitrito para as águas fluviais do estado do Rio de Janeiro.

De todas as análises apenas a água do rio São João (ML-147AF) ficou acima do limite estipulado pela Resolução n° 357 (CONAMA, 17/03/2005) de 3,3 mg/L de NO_2^- . O segundo valor mais alto foi de 1,0 mg/L no córrego do Peixe em Volta Redonda (ML-303AF) coletada no dia 25/01/2011.

Esse ponto coletado no rio São João (Fig. 68) está em uma região de planícies flúvio-lagunares e fluviais com sedimentos quaternários, caracterizados por ambiente redutor, ricos em matéria orgânica, campos de várzea ocupados por pastagens e por agricultura.



Figura 63 – Foto do rio São João em Barra de São João (distrito de Casimiro de Abreu), onde foi encontrado valor de concentração de nitrito acima do limite estabelecido pelo CONAMA.

O nitrito é um indicador de poluição recente e quando presente na água de consumo humano tem um efeito mais rápido e pronunciado que o nitrato (CETESB). O nitrito é instável na presença de oxigênio, convertendo-se fácil e rapidamente para nitrato. A presença de nitrito na água indica, segundo a CETESB, processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica, o que poderia estar acontecendo quando se efetuou a coleta da amostra.

O valor 4,4 mg/L de nitrito registrado no rio São João pode estar relacionado a fontes naturais, haja vista a presença de sedimentos ricos em matéria orgânica e/ou a fontes antrópicas, já que uma das principais atividades econômicas do município é a agropecuária. Ademais, a região onde foi coletada a amostra trata-se de área agrícola, onde muitos compostos nitrogenados são adicionados ao sistema por meio de fertilizantes, e junto com a pecuária extensiva pode vir a contaminar as águas superficiais.

6.3 Razão Iônica (rCl/rBr)

Os dados obtidos indicam variações na rCl/rBr para as águas amostradas antes e depois do período de 05 a 11/01/2001.

Verificou-se que para as amostras coletadas antes deste período, seis rios apresentaram valores de rCl/rBr acima de 700 sendo o valor mais alto 765,3 encontrado no rio Caranguejo em Maricá (ML-127AF), enquanto o mais baixo valor (264,5) foi registrado no rio Macaé (ML-265AF), e a média para o período foi de 561,8.

Após 11/01/2011, cinco rios apresentam valores acima de 700, sendo o máximo (1.074,8) registrado no rio Guandu Mirim em Itaguaí (ML-314AF), enquanto o mais baixo valor (65,3) foi registrado no rio Campo Belo em Itatiaia (ML-308AF), e a média para o período foi 398,5. Os diferentes valores da razão rCl/rBr são ilustrados nas Figuras 73 e 74.

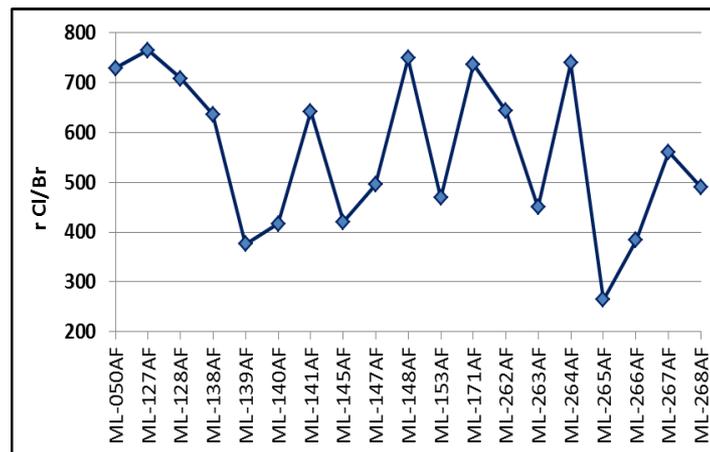


Figura 64 - Gráfico com os valores de rCl/rBr para os rios coletados antes do dia 11/01/2011.

O valor médio da razão iônica rCl/rBr da água do mar (665) é usado como referência para comparar diferenças nas águas dos rios. Os íons cloreto e brometo são conservativos, pouco sensíveis a variações químicas do meio e servem como um indicativo da influência exercida pelo mar nas águas fluviais.

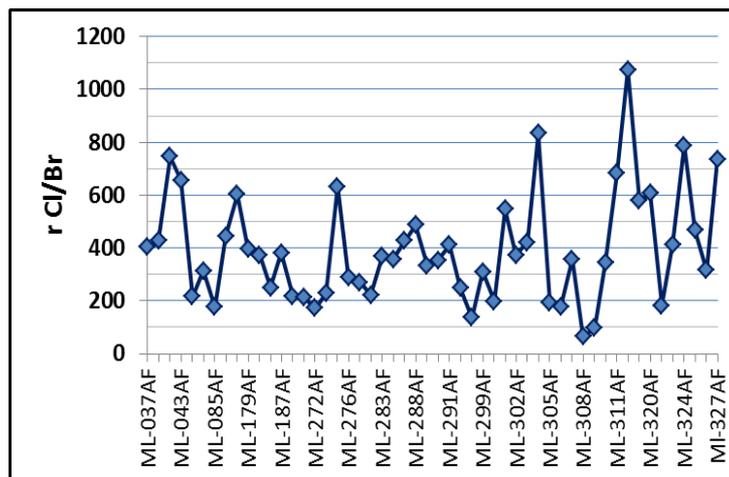


Figura 65 - Gráfico com os valores de r para os rios coletados depois do dia 11/01/2011.

Nas Tabelas 4 e 5 estão listados os rios que apresentam a razão iônica ($r.i$) acima de 700.

Tabela 6 - Rios que apresentam rCl/rBr acima de 700 entre 05 e 11/01/2011.

<i>Ponto de coleta</i>	<i>r (Cl/Br)</i>	<i>Curso d'água</i>	<i>Município</i>
ML-050AF	729	rio Guaraí	Magé
ML-127AF	765	rio Caranguejo	Maricá
ML-128AF	708	rio Ludigero	Maricá
ML-148AF	748	rio Una	Cabo Frio (Tamoios)
ML-264AF	739	rio Limão	Araruama
ML-171AF	736	Rio Paraíba do Sul	Campos

Tabela 7 - Rios que apresentam rCl/rBr acima de 700 após 11/01/2011.

<i>Ponto de coleta</i>	<i>r (Cl/Br)</i>	<i>Curso d'água</i>	<i>Município</i>
ML-042AF	746	rio Jacupecanga	Mangaratiba
ML-304AF	832	rio Brandão	Volta Redonda
ML-314AF	1074	rio Guandu Mirim	Itaguaí
ML-324AF	787	rio Parati Mirim	Parati
ML-327AF	735	rio Areia do Pontal	Angra dos reis

* - Rios com rCl/rBr acima de 700, porém com cloreto e sulfato abaixo de 10mg/L e CE abaixo de 65 μ S/cm.

Os resultados mostram que o rio Brandão, em Volta Redonda, é o único rio dentre os listados nas Tabelas 2 e 3 que não se encontra na região litorânea. Nesse rio a incorporação de águas com resíduos sólidos urbanos pode proporcionar fonte de salinidade que incrementa o valor de $r.i$. Já os rios na Planície Litorânea com valores de $r.i$ acima do estabelecido como padrão para água do mar indicam a influência do ambiente marinho rico em cloro no ambiente fluvial costeiro.

Características orográficas e a distância em relação ao mar influenciam na distribuição de Cl e Br e conseqüentemente a razão Cl/Br. Essa razão tende a diminuir conforme se distancia do mar, aumenta a altitude, acréscimo de chuvas, e adição de agroquímicos, como verificado por Alcalá & Custódio (2008). As razões rCl/rBr para os rios ora estudados apresentam média de 561,8 antes das chuvas intensas no dia 11/01/2011, superior à média 398,5 após esse dia, indicando a diluição dos íons provocada pelo aumento da quantidade de água oriunda das chuvas. Os valores mais baixos de rCl/rBr foram registrados no rio Campo Belo e no rio Salto com 65,3 e 96,8, respectivamente, com águas captadas após o dia 11/11/2011. Estes valores estão associados a rios situados em regiões interiores, de elevadas altitude e precipitação pluviométrica, que juntos reduzem rCl/rBr a valores menores que 100. Tais valores são um tanto anômalos já que a redução de salinidade por diluição implica também na redução do teor de brometos. Embora os valores continentais da relação rCl/rBr sejam realmente menores que as de influência marinha, a redução foi grande.

A razão Cl/Br pode variar também em função dos efeitos antropogênicos modificadores da salinidade natural, dependendo da contribuição de produtos agroquímicos que muitas vezes utilizam Br em sua composição. Águas que apresentam rCl/rBr abaixo de 400 e concentração de Cl⁻ acima de 10mg/L podem ser exemplos de influência de produtos agroquímicos em cursos d'água, como o rio Seco, em Saquarema (Figs 75 e 76), com concentração de Cl⁻ igual a 18,4mg/L e rCl/rBr igual a 376,5.

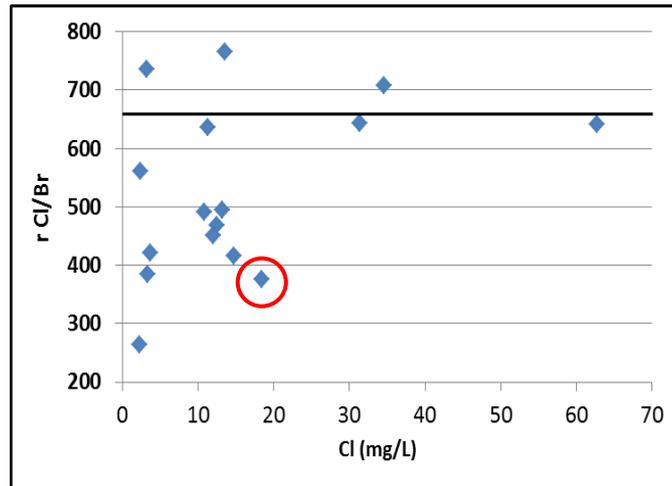


Figura 66 - Gráfico Cl^- x $r\text{Cl}/r\text{Br}$ com os valores obtidos para as amostras coletadas antes do dia 11/01/2011 . O círculo é referente ao rio Seco que pode estar sob influência de produtos agroquímicos.



Figura 67 - Ponto de coleta de água do rio Seco em Saquarema. A influência de produtos agroquímicos é associada ao valor de $r\text{Cl}/r\text{Br}$ abaixo de 400 e cloreto acima de 10 mg/L.

7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Ao reconhecer anomalias químicas em microbacias no Estado do Rio de Janeiro , analisando a distribuição dos parâmetros físico-químicos, ânions e a razão iônica $r\text{Cl}/r\text{Br}$ detectados em águas fluviais do estado, .foi possível identificar áreas com indícios de contaminação natural ou impactadas antropicamente.

Na maioria dos rios estudados foram identificadas concentrações de parâmetros físico-químicos e constituintes iônicos abaixo dos limites estabelecidos pela resolução 357/05 do CONAMA. Os limites extrapolados foram detectados para valores de cloreto (duas ocorrências), sulfato, nitrato e nitrito (uma ocorrência cada) e fosfato (quinze ocorrências).

Observa-se um cenário composto por dois conjuntos de rios, sendo um representado pelo conjunto de rios situados próximos ao litoral, pertencentes às regiões hidrográficas RHI, RHII, RHV, RHVI, RHVIII e RHIX, e outro representado pelos rios mais interiores no Estado, pertencentes às regiões hidrográficas RHIII e RHX.

Os resultados analíticos e as observações *in situ* permitiram inferir que os valores físico-químicos e as concentrações aniônicas estão relacionados a fontes naturais (litologia, contribuição marinha) e não naturais (esgotos domésticos e industriais, resíduos sólidos e exploração agropecuária).

Na região litorânea foram identificados onze rios com influência marinha, representando 15% da amostragem. Nestes rios, foram registrados os maiores valores de cloreto, brometo, sulfato e condutividade elétrica (CE), e valores de rCl/rBr acima dos valores médios para água do mar (Tabela 5).

Esses rios atravessam baixadas aluviais, planícies flúvio-marinhas e flúvio-lagunares, que preenchem extensas áreas deprimidas localizadas próximo ao litoral, tais como as baixadas de Sepetiba, da Guanabara, de Ilha Grande, Região dos Lagos, e Campista. Também compreendem os baixos cursos dos principais canais fluviais que deságuam diretamente no oceano, como os rios Una, Paraíba do Sul e São João.

Essas baixadas são caracterizadas por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos ou transicionais (Dantas, 2001), o que reflete nos resultados encontrados nesse trabalho.

Tabela 8 - Rios situados na planície litorânea com valores de ânions, CE e rCl/rBr .

Rio	Cloreto (mg/L)	Brometo (mg/L)	Sulfato (mg/L)	CE (μS/cm)	<i>r</i> (Cl/Br)
Areia do Pontal	307	0,94	41,2	1059	735
Guaraí	230	0,71	39,7	872,8	729
Una	133	0,40	126	711,7	748
Lapa	10100	38,1	1880	30,5*	597**

*valor de condutividade elétrica em mS/cm.

**valor que não excede o padrão estabelecido para água do mar ($r_{Cl}/r_{Br} = 665 \pm 4$), porém valores acima de 500 podem indicar influência de aerossóis marinhos.

Também foram relacionados à fonte natural, indicando influência do ambiente marinho no ambiente fluvial costeiro, os rios listados na Tabela 6, que embora não apresentem altos valores para cloreto, brometo, sulfato, apresentam r_{Cl}/r_{Br} acima do estabelecido para a água do mar, e valores de CE acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabela 9 - Rios com valores de r_{Cl}/r_{Br} acima de 700 e CE acima de 100, indicando influência da água do mar salinizada no aumento das concentrações analisadas.

<i>Ponto de coleta</i>	<i>r (Cl/Br)</i>	<i>C.E</i>	<i>Curso d'água</i>	<i>Município</i>
ML-127AF	765	103,6	rio Caranguejo	Maricá
ML-128AF	708	311	rio Ludegero	Maricá
ML-264AF	739	655,1	rio Limão	Araruama
ML-171AF	736	62,15*	rio Paraíba do Sul	Campos
ML-042AF	746	379,1	rio Jacupecanga	Mangaratiba
ML-314AF	1074	309,7	rio Guandu Mirim	Itaguaí
ML-324AF	787	33,25*	rio Parati Mirim	Parati

*valores abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e com cloreto e sulfato abaixo de 10 mg/L.

O rio São João, pertencente à RHVI, constitui o único ponto com concentração de nitrito acima do limite estabelecido pela resolução 357/05 CONAMA. Esse valor de nitrito foi associado à fonte natural já que o rio atravessa Planícies Flúvio-Lagunares, com terrenos argilosos orgânicos de paleolagunas colmatadas (Dantas, 2001), e também não natural, pois a região onde foi coletada a amostra trata-se de área agrícola, onde muitos compostos nitrogenados são adicionados ao sistema por meio de fertilizantes, e atividades de pecuária extensiva.

O rio merece um monitoramento geoquímico adequado a fim de identificar qual das fontes pode estar contribuindo mais para a concentração de nitrito, pois a região tem terrenos muito mal drenados com lençol freático subaflorente e os altos valores de nitrito podem vir a contaminar as águas superficiais e subterrâneas, prejudicando seu consumo.

Os valores referentes aos ânions nitrato e fosfato para os rios situados no interior do estado, na Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RHIII), foram associados, principalmente, a fontes não naturais. Essas estão associadas a despejo de esgoto e lixo, nas margens dos rios ou diretamente no leito do corpo hídrico, em zona urbana.

No rio Bananal foram obtidos valores de fosfato e nitrato acima do permitido pela resolução 357/05 CONAMA, e valores de oxigênio dissolvido (OD) abaixo de 5 mg/L, indicando condições de poluição que provavelmente relaciona-se ao lixo depositado em suas margens.

O rio Barra Mansa com valor de fosfato acima do limite estabelecido pela resolução citada, nitrato acima de 10 mg/L e OD abaixo de 3 mg/L, também encontra-se em condições de poluição. Neste caso, a principal fonte de poluição parece relacionar-se a despejo de esgoto em suas águas, conforme observado *in situ*.

Os rios Bananal, Barra Mansa, Brandão e Alambari são tributários do rio Paraíba do Sul. Nos três primeiros foram registrados mais de um indicador de poluição, e no Alambari, alto valor de nitrato, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 10 - Cursos d'água com poluição de esgoto e lixo. Todos tributários do rio Paraíba do Sul.

<i>rio</i>	<i>Nitrato</i>	<i>Fosfato</i>	<i>OD</i>
rio Bananal	48,7*	0,39*	4,52
rio Brandão	0,66	1,15*	0,72
rio Barra Mansa	11,8	0,38*	2,21
rio Alambari	31,3	0,13	5,28

*valores que ultrapassam os limites da resolução 357/2005 do CONAMA

As concentrações dos componentes iônicos e parâmetros físico-químicos nesses rios apontam condições preocupantes no médio curso do rio Paraíba do Sul, e merecem estudo mais detalhado para verificar se os fatores de poluição antrópica observados, como: a) despejo de resíduos sólidos e esgotos e b) o fato de que esta região constitui um grande pólo industrial associado ao setor de siderurgia-automobilístico; são suficientes para se propagar ou influenciar as águas mais a jusante do rio Paraíba do Sul e afetar a qualidade da água de um dos principais corpos hídricos da região fluminense.

Recomenda-se que esta região passe por um monitoramento geoquímico dos rios identificados com anomalias positivas, principalmente os rios e bacias com concentração de ânions acima do estabelecido por lei, recolhendo amostras a montante do local onde foi identificado as anomalias, com a finalidade de estudar as fontes das altas concentrações.

Para as regiões hidrográficas litorâneas e interiores recomenda-se o monitoramento das características da água para junto com dados de outros elementos e parâmetros físico-químicos chegar a conclusões mais específicas da qualidade da água e dos riscos que o consumo desta água pode causar.

Neste estudo constata-se que, a identificação das áreas que podem ser consideradas como impactadas antropicamente, como a região do médio rio Paraíba do Sul,

Por fim esse trabalho mostra, com dados coletados em campo e com análises químicas das águas fluviais, que a ocupação urbana e suas atividades quando mal planejadas podem vir a prejudicar os corpos hídricos e, por conseguinte, a qualidade de vida, trazendo necessidade de maiores investimentos em programas de monitoramento geoquímico e de educação ambiental no Estado do Rio de Janeiro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas – ANA. 2009. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília. 204 p.

Almeida, F.F.M. & Carneiro, C.D.R. 1998. Origem e Evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 28 (2): p. 135-150.

Alves Sobrinho, T.; Oliveira, P.T.S.; Rodrigues, D.B.B. & Ayres, F. M. 2010. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM. *Engenharia Agrícola.*, Jaboticabal, 30 (1): 46-57.

American Public Health Association - APHA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington.

Anido, N.M.R. 2002. *Caracterização Hidrológica de uma Microbacia Experimental Visando Identificar Indicadores de Monitoramento Ambiental*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. Dissertação de Mestrado, 67p.

Arcova, F.C.S. & Cicco, V. 1999. Qualidade da Água de Microbacias com Diferentes Usos do Solo na Região de Cunha, SP. *Scientia Forestalis*, (56): 125-134.

Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA). 2011 Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acessado em 28 de setembro de 2011.

Baumgarten, M.G.Z. & Pozza, S.A. 2001. Qualidade de águas: *Descrição de Parâmetros Químicos Referidos na Legislação Ambiental*. Rio grande, FURG. 166p.

Bilich, M.R. & Lacerda, M.P.C. 2005. Avaliação da Qualidade da Água do Distrito Federal por Meio de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, Goiânia, 2005. *Anais...*, Goiânia, INPE, p.2059-2065.

Brasil. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui A Política Nacional De Recursos Hídricos, Cria O Sistema Nacional De Gerenciamento De Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/LEIS/19433.htm>>. Acesso em: 21 de setembro de 2011.

Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução nº 32 de 15 de Outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Anexo I. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=74&Itemid=>>. Acessado em 21 de setembro de 2011.

Brasil. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI). Resolução nº 18 de 08 de Novembro de 2006. Aprova a definição das regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Anexo: Divisão em Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cerhi/resolucoes.asp>>. Acesso em 11 de setembro de 2011.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005. . Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acessado em: 11 de setembro de 2011.

Bower, H. 1978. *Ground water hydrology*. New York, McGraw-Hill Book Company. 480p.

Casali, C. A. 2008. *Qualidade da Água Para Consumo Humano Ofertada em Escolas E Comunidades Rurais da Região Central do Rio Grande Do Sul*. Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 173p.

Christofoletti , A. 1980. *Geomorfologia* 2ª edição, São Paulo, Editora Edgard Blücher. 200p.

Coelho, A.L.N. 2007. Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, Florianópolis, , INPE, p.2437-2445.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). 2009. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. *In: QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES NO ESTADO DE SÃO PAULO*. São Paulo, Apêndice A, 43p.

Custódio, E. &. Llamas, M. R. 1983. *Hidrología Subterránea* 2ª edição, Barcelona, Editora Omega, 2359p.

Dantas, M.E. 2000. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*, Brasília/CPRM, 2001. Mapa. CD-ROM. *In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília. 615p.

Dantas, M. E; Shinzato, E; Medina, A.I.M.; Silva, C.R.; Pimentel, J.; Lumbreras, J.F.; Calderano, S.B.; Carvalho Filho. A; Oliveira, R.P.; Mansur, K. & Ferreira, C.E.O. 2000. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro, Brasília/CPRM. Mapa/CD-ROM 24p. *In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília. 615p.

Davis, E.G. & Naghettini, M.C. 2000. *Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*, Brasília/CPRM. CD-ROM. *In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília. 615p.

Deer, W.A, Howie, R.A and Zussman, J. 1997. *Rock-Forming Minerals*. Double-Chain Silicates. Vol.2B Geological Society, London, 2nd edition, 764p.

Dias, L. S. O. ; Rocha, G.A.; Barros, E.U.A. & Maia, P.H.P. 2004. Utilização do Radar Interferométrico para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. *Bahia análise & Dados*, Salvador, 14 (2). p.265-271.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2009. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 412p.

Esteves, F. 1998. *Fundamentos da Liminologia*. Rio de Janeiro, Interciência. FINEP. 574p.

Environmental Systems Research Institute (ESRI) -. ArcGIS Desktop help. Redlands, 2006.

Fejerksov, O.; Baelum, V.; Manji, F.; Moller, I. J. 1994. Fluorose Dentária: *Um Manual Para Profissionais Da Saúde*. Trad., São Paulo: Liv. Santos, 1994. 122p.

Filho, A.de C., Lumbreras. F.J., & dos Santos, R.D. 2000. *Os solos do Estado do Rio de Janeiro*, Embrapa/Solos. Mapa. CD-ROM. In: *Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília. 615p.

Fiorucci, A. F.; & Filho, E. B. 2005. A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. In: Química e Sociedade. *Química Nova na Escola*. 22. p.10-16.

Francisco, C. N.; Carvalho, C. N. 2004. Disponibilidade Hídrica da Visão Global às Pequenas Bacias Hidrográficas: o caso de Angra dos Reis, Rio de Janeiro. *Revista de Geociências*. 3 (3): 53-72.

Golfari, L.; Caser, R.L. & Moura, V.P.G. 1978. Zoneamento Ecológico Esquemático Para Reflorestamento no Brasil. Belo Horizonte, Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, PNUD/FAO/IBDF, 66p. (Série Técnica 11).

Hem, J. D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S Geological Survey Water-Aupply Paper 2254. 263p.

Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Volta redonda (IPPUVR). 2000. *Informações para o Plano Diretor: Coleção cadernos de Planejamento*. v3. Volta Redonda, Edição Própria.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. www.ibge.gov.br Acessado em 20 de setembro de 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2011. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acessado em 20 de setembro de 2011.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). <http://www.inmet.gov.br/>. Acessado em 10 de janeiro de 2012.

Kormann, T. C., Vier, L.P.; Camargo, M.; Souza, D.B.; Monguilhott, M. & Sebem, E. 2011. Uso do ArcGis 9.3 na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Arroio Bísvaro, Rio Grande do Sul. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15, Curitiba, 2011. Anais..., Curitiba, INPE, p.1503-1509.

Licht O.A.B. 2001. *A Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental. Identificação e Caracterização de Províncias Geoquímicas Naturais, Alterações Antrópicas da Paisagem, Áreas Favoráveis à Prospecção Mineral e Regiões de Risco para a Saúde no Estado Do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 209p.

Lins, C. A. C. 2003. Manual Técnico de Geoquímica do PGAGEM – BRASIL. CPRM-Serviço Geológico do Brasil.

Macedo, de F. L.; Pedra, W. N. & Mello Junior, A. V. 2010. Caracterização Fisiográfica da Sub-bacia do Riacho Jacaré, Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3: 163-169.

Matthess, G. & Harvey, J. C. 1982. *The Properties of Groundwater*. Nova York, John Wiley & Sons. 405p.

Medeiros, L. C.; Ferreira, N. C. & Ferreira, L. G. 2009. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. *Revista de Cartografia*.61 (2): 138-151.

Mendes, C.A.B.& Cirilo, J.A. 2001. *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 536 p.

Mendondo, E. M. & Tucci, C. E. M. 1997. Escalas Hidrológicas I: Conceitos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2, (1): 59-122.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2006a. *Glossário de Termos Referentes à Gestão de Recursos Hídricos Fronteiriços e Transfronteiriços*. Secretaria de Recursos Hídricos Brasília, 74p.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2006b. *Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste*. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.140 p.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2010. *Florestas do Brasil em Resumo*, Brasília, 153p.

Moulton, T. P. & Souza, M. L. 2006. Conservação com base em bacias hidrográficas. *In*:. BERGALLO, H.G., ROCHA, C.F.D., ALVES, M.A.S. & SLUYS, M.V (ed.) *Biologia da Conservação*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. p.45-52.

Oliveira, P. T. S.; & Rodrigues, D. B. B. 2008. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso, Bacia do Prosa, MS. *In*:. 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Curitiba. *O planeta terra em nossas mãos*.

O'Neill, P.1993. *Environmental Chemistry*. London : Chapman & Hall, 2 ed. 267p.

Paredes, E.A. 1994. *Sistema de Informação Geográfica (Geoprocessamento): Princípios e Aplicações*. São Paulo, Érica SP. 675p

Pereira, R.S. Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos.2004. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos*,1(1): 20-36.

Porto, M.F. A.;& Porto, R. L. L. 2008. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*,22: 43-60.

Ramme, E. J., & Krüger, C. M. 2007. Delimitação de Bacias Hidrográficas com Auxílio de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17. 2007. *Anais...*, São Paulo, 17p.

Rodrigues, É. F. 2008. *Diagnóstico de Cheias Urbanas na Cidade de Volta Redonda*, Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Dissertação de mestrado, 114p.

Sampaio, F.C. 1993. Prevalência de Cárie e Fluorese Dentária em Cidades da Paraíba com Teores Residuais de Fluoretos na Água de Abastecimento, João Pessoa, PB. *Ciência, Cultura e Saúde*, 12(2): 11-19.

Sé, J. 1992. *O rio Monjolinho e sua Bacia Hidrográfica Como Integradores de Sistemas Ecológicos: Um conjunto de Informações para o Início de um Processo de Pesquisas Ecológicas de Educação, Planejamento e Gerenciamento Ambientais a Longo Prazo*. Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, Dissertação de Mestrado, 381p.

Silva, L.C. 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: Texto explicativo do mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. 88p. In: *In: CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. Silva, L.C., Cunha, H.C. da S (ed). Brasília: CPRM. 2ªed. 2001. p 615.

Silva, J.SV. 2003. *Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Taquari MS/MT*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado, 307p.

Silva, J. X. & Zaindan, R.T. 2004. *Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 145 p.

Simões, M. 2008. Métodos Cromatográficos, Volumétricos e Potenciométricos para Análise Química Quantitativa de Água Subterrânea e sua Aplicação no Aquífero Cenozóico da Bacia do Baixo Tejo, Portugal. *Geociencias*, 27 (2): 161-169.

- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) : Analysis of Erosion al Topography. *Geological Society of America Bulletin*,63(10):1117-1142.
- Teixeira, O. A. 1999. Quando Poluído e Poluidores se Descobrem Convencionalistas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. 16 (2): 53-68.
- Teodoro, V.L.I.; Teixeira, D.; Costa, D.J.L. & Fuller, B.B. 2007. O conceito de bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. *Revista UNIARA*,20,: 137 – 156.
- Tucci, C.E.M. 2008. Águas Urbanas. *Estudos Avançados*,22,(63): 1-16.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2000. *Global Environment Monitoring System Freshwater Quality Programme*. Disponível em: <<http://www.cciw.ca/gems/atlas-gwq/gems11.htm#1>>.
- Valeriano, M.M.; 2004. Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM Disponíveis Para a América do Sul. São José dos Campos. SP. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais. 72p.
- Valeriano, M.M. & Dilce de Fatima Rossetti. 2010. TOPODATA: Seleção de Coeficientes Geoestatísticos Para Refinamento Unificado de Dados SRTM. *In: Desenvolvimento de Aplicações de Dados Topográficos SRTM*, São José dos Campos, CNPq, INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais. 72p
- Ventura, A. 1964. Problemas Técnicos da Silvicultura Paulista. *Silvicultura em São Paulo*, 3: 61-80.
- Von Sperling, M. V. 1995. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. *In: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 240p.
- Water Quality Criteria for Water. 1976. Enviromental Protection Agency (EPA)Washington d.c. 501p.

Weber, E.J.; Lisboa Filho, J.; Iochpe, C. & Hasenack, H. 1998. Geospatial Metadata in Brazil: An Experience with An Environmental GIS Application. In: CONGRESSO E FEIRA INTERNACIONAL DE GEOTECNOLOGIAS, Lisboa, Portugal, 1998. *Anais. GIS Planet 98*. 6p.

Wiegand, M. C.; Lima, Y. P. C.; Chaves, Q. L. S. S.; Alves, N. N. L. 2009. Utilização do SIG na avaliação da Fragilidade potencial da Bacia Experimental de Aiuaba. BEA/CE. *Revista de Geologia*, 22 (2): 186 – 196.

Winter, M.. 1996. WebElements.University of Sheffield. Disponível em: <http://www.shef.ac.uk/~chem/web-elements>. Acessado em 24 de outubro de 2011.

ANEXO I

Tabela com os Dados das concentrações dos parâmetros físico-químicos e ânions

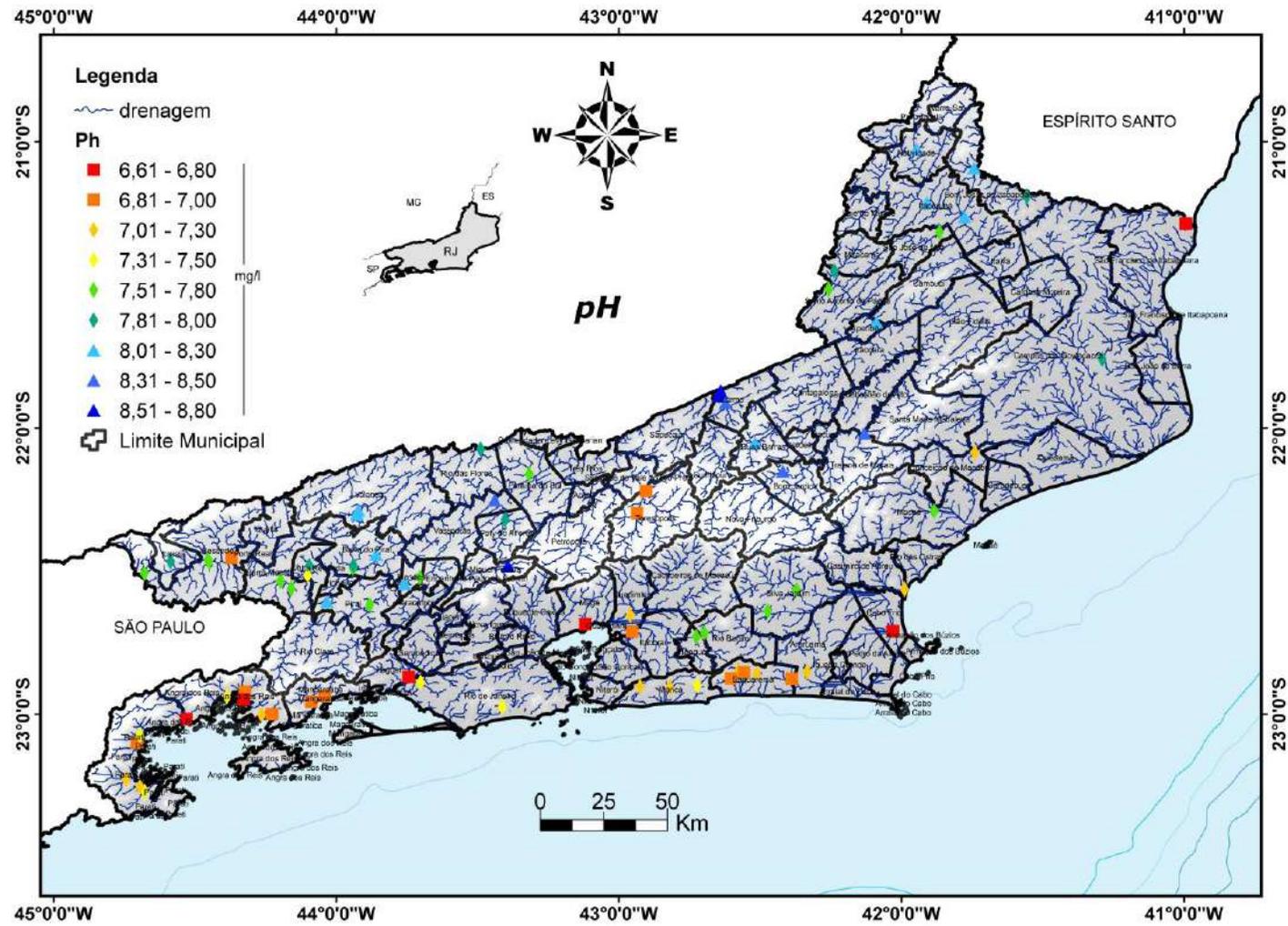
Ponto	Localidade	Curso d'água	Data	X	Y	pH	Temp	O.D	Con d	Cl ⁻	Br ⁻	F ⁻	PO ₄ ⁻	NO ₃	NO ₂	SO ₄ ¹⁰⁵⁴
ML-005AF	Rio de Janeiro	Rio Pequeno	27/1/11	662555	7458421	7,4	29,0	5,0	127,8	15,7	0,1	0,1	0,3	3,1	0,0	5,1
ML-035AF	Parati	Rio do Sertao	30/1/11	527200	7432175	7,1	28,3	5,7	32,6	2,1	0,0	0,1	0,0	0,6	0,0	1,5
ML-037AF	Angra dos Reis	Rio Barra Grande	29/1/11	530231	7445522	7,0	28,0	5,7	29,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7
ML038AF	Angra dos Reis	Rio Arirí	30/1/11	569318	7464975	7,0	27,7	6,0	26,3	1,9	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,9
ML-042AF	Conc. de Jacareí	Rio Jacupeçanga	29/1/11	579074	7456440	7,0	29,0	6,8	379,1	96,2	0,3	0,1	0,1	0,5	0,0	12,9
ML-043AF	Conc. de Jacareí	Rio Sao Braz	29/1/11	597074	7461693	7,0	29,5	6,6	352,6	17,5	0,1	0,1	0,0	0,6	0,0	3,6
ML-049AF	Magé	Rio Macacu	09/1/11	710253	7486840	6,9	30,5	6,8	208,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-050AF	Magé	Rio Guarai	9/1/11	709904	7489075	7,1	30,3	6,9	872,8	230,0	0,7	0,2	0,0	0,1	0,0	39,7
ML-061AF	Pirai	Rio Pirai	25/1/11	614847	7498255	7,8	28,5	5,7	6,9	2,9	0,0	0,1	0,1	1,5	0,0	4,9
ML-078AF	Mendes	Rio Santana	25/1/11	633210	7508773	7,8	24,2	5,8	71,8	4,2	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,7
ML-085AF	Conservaória	Rio Bonito	24/1/11	611013	7535177	8,2	25,5	5,6	44,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,5
ML0106AF	Arrozal	Rio Cachimbal	25/1/11	599392	7499691	8,1	32,0	5,6	33,0	2,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,0	0,9
ML-120AF	Mangaratiba	Rio do Saco	29/1/11	598134	7463310	6,8	28,7	5,9	78,9	10,7	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	2,2
ML-127AF	Maricá	Rio Caranguejo	05/1/11	733728	7465394	7,4	27,4	4,9	103,6	13,6	0,0	0,2	0,7	0,4	0,0	4,4
ML-128AF	Maricá	Rio Ludegero	05/1/11	723583	7465132	7,1	25,9	7,5	311,0	34,6	0,1	0,3	1,6	2,2	0,0	12,0
ML-138AF	Saquarema	Rio Tingui	05/1/11	747648	7470644	7,2	26,4	5,5	111,5	11,3	0,0	0,2	0,5	0,4	0,0	3,3
ML-139AF	Saquarema	Rio Seco	05/1/11	755272	7470069	7,3	25,2	7,0	165,2	18,4	0,1	0,1	0,3	0,4	0,0	3,4
ML-140AF	Rio Mole	Saquarema	05/1/11	751457	7460612	7,0	26,0	3,4	168,6	14,8	0,1	0,2	0,5	0,8	0,0	4,3
ML-141AF	Rio das Mopas	Araruama	05/1/11	768149	7467692	7,0	26,1	3,7	321,2	62,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	8,6
ML-145AF	Silva Jardim	Rio Capivari	6/1/11	759996	7494171	7,6	30,9	5,7	46,4	3,7	0,0	0,1	0,0	0,7	0,8	2,2
ML-147AF	Barra de s. João	Rio São João	5/1/11	808054	7499320	7,1	25,7	6,0	111,4	13,2	0,1	0,1	0,1	0,4	4,4	18,5
ML-148AF	Tamoios	Rio Uma	6/1/11	806018	7484746	6,6	26,0	4,8	711,7	133,0	0,4	0,2	0,1	0,3	0,0	126,0
ML-153AF	Tanguá	Rio Tanguá	8/1/11	736727	7486241	7,7	30,4	5,6	134,7	12,5	0,1	0,2	0,3	0,3	0,0	5,3
ML-190-AF	Bom Jardim	Rio Negro	21/1/11	766162	7549611	8,3	23,0	6,0	49,1	1,9	0,0	0,1	0,2	2,0	0,0	2,0
ML-192AF	Duas Barras	Rio Negro	21/1/11	755939	7559434	8,1	21,4	5,3	37,4	1,0	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	0,6
ML-262AF	Inoã	Riacho do vigário	5/1/11	711434	7465922	7,0	26,5	5,1	255,7	31,4	0,1	0,2	0,1	1,6	0,3	13,4
ML-263AF	Sampaio Correa	Riac. Mato Grosso	5/1/11	745668	7467267	7,0	26,3	4,8	94,1	12,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	17,4
ML-264AF	Araruama	Rio Limão	5/1/11	773591	7470243	7,2	25,8	4,1	655,1	115,0	0,4	0,2	0,7	1,4	0,1	21,9
ML-267AF	Cas. de Abreu	Rio São João	8/1/11	771142	7502327	7,7	30,0	5,0	29,6	2,5	0,0	0,1	0,2	0,7	0,0	1,2

ML-268AF	Tanguá	Rio Caceribu	8/1/11	733596	7484934	7,5	31,1	4,5	137,4	10,9	0,1	0,2	0,2	1,5	0,1	5,3
ML-279AF	Aperibé	Rio Pomba	20/1/11	801373	7605390	8,1	27,5	5,1	43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-280AF	Paraquena	Rio bom Jardim	20/1/11	784088	7618341	7,8	29,4	2,7	108,4	15,3	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	1,2
ML-281AF	Miracema	Rio Santo Antônio	20/1/11	786306	7625278	7,9	29,0	4,4	82,9	2,4	0,0	0,1	0,0	0,8	0,1	0,9
ML-282AF	Além Paraíba	Rio Paraíba do Sul	20/1/11	740974	7579618	8,7	27,4	5,5	48,7	2,0	0,0	0,1	0,0	1,6	0,0	3,0
ML-283AF	Ilha dos Pombos	Rio Paqueuquer	20/1/11	743840	7579691	8,7	28,0	5,4	50,8	1,6	0,0	0,1	0,0	2,4	0,0	1,2
ML-284AF	Carmo	Rio Paqueuquer	20/1/11	745779	7575141	8,4	26,9	5,2	51,0	1,6	0,0	0,1	0,1	2,5	0,0	1,3
ML-285AF	Trajano Moraes	Rio Grande	21/1/11	796391	7562321	8,5	25,8	6,1	44,4	1,9	0,0	0,1	0,4	1,7	0,0	2,1
ML-288AF	Miguel Pereira	Rio Santana	22/1/11	665641	7512911	8,7	23,6	5,6	25,5	2,2	0,0	0,1	0,1	0,6	0,0	0,9
ML-289 AF	Distrito de Avelar	Rio Ubá	23/1/11	664423	7530947	7,9	24,7	5,1	158,5	8,9	0,1	0,2	0,0	3,9	0,2	4,3
ML-290AF	Andrade Pinto	Rio Boa Sorte	23/1/11	660850	7538365	8,3	26,3	5,8	151,8	6,3	0,0	0,2	0,1	2,4	0,1	3,0
ML-291AF	Andrade Pinto	C. do Maurício	23/1/11	673812	7548445	7,8	24,5	7,3	187,5	1,8	0,0	0,3	0,6	0,5	0,2	1,1
ML-297AF	Manuel Duarte	Rio Preto	23/1/11	655087	7558245	8,0	26,6	5,3	44,7	1,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,4
ML-298AF	Ipiabas	Rio Ipiabas	24/1/11	617310	7517816	8,1	26,8	5,7	65,6	1,2	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,4
ML-299AF	Conservatória	Rio Guaraí	24/1/11	610568	7533457	8,3	25,5	5,7	44,6	1,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4
ML-300AF	Vargem Alegre	Rio das Minhocas	24/1/11	608996	7512519	7,8	28,5	5,6	44,0	0,9	0,0	0,1	0,0	0,6	0,0	0,4
ML-301AF	Vargem Alegre	Rio das Minhocas	24/1/11	608501	7513881	7,9	28,7	4,9	113,3	4,9	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	0,8
ML-302AF	Martins Costa	Rio Sacra Família	24/1/11	627540	7506598	8,1	27,7	5,0	86,9	5,0	0,0	0,1	0,0	1,4	0,1	2,6
ML-303AF	Volta Redonda	Rio do Peixe	25/1/11	593095	7513580	7,9	29,8	5,0	154,9	3,7	0,0	0,2	0,1	3,1	1,0	4,5
MI-304AF	Volta Redonda	Brandão e Carapi	25/1/11	591176	7511178	7,5	29,4	0,7	291,3	11,1	0,0	0,4	1,2	0,7	0,2	16,7
ML-305AF	Resende	Af. Paraíba do Sul	26/1/11	567205	7518847	6,9	25,6	7,3	68,3	0,9	0,0	0,1	0,0	1,5	0,0	0,5
ML-306AF	Resende	Rio Alambari	26/1/11	557334	7516130	7,7	25,0	5,3	40,8	0,8	0,0	0,1	0,1	31,3	0,0	0,8
ML-307AF	Resende	Rio do Sesmaria	26/1/11	556479	7515407	7,5	26,0	5,6	49,6	1,6	0,0	0,1	0,3	1,0	0,0	2,0
ML-308AF	Itatiaia	Rio Bonito	26/1/11	542522	7515538	8,0	21,3	6,7	11,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2
ML-309AF	Eng. Passos	Rio Salto	26/1/11	533027	7511120	7,6	26,2	5,6	52,1	0,4	0,0	0,1	0,1	0,7	0,0	0,2
ML-310AF	Barra Mansa	Rio Bananal	26/1/11	582735	7507518	7,6	31,0	4,5	96,1	3,1	0,0	0,6	0,4	48,7	0,1	2,4
ML-311AF	Barra Mansa	Rio Barra Mansa	26/1/11	586351	7504801	7,7	34,0	2,2	196,5	6,1	0,0	0,3	0,4	11,8	0,2	5,
ML-314AF	Itaguaí	Rio Guandu	29/1/11	633969	7467805	7,3	28,5	5,1	309,7	19,1	0,0	0,3	0,9	0,2	0,0	13,3
ML-315AF	Itaguaí	Rio da Guarda	29/1/11	628634	7470406	6,8	29,0	2,7	193,0	18,0	0,1	0,3	0,2	7,7	0,1	29,4
ML-319AF	Mangaratiba	Rio Lapa	29/1/11	594676	7416960	7,7	29,9	6,8	30,5	10100	38,1	0,9	0,0	1,1	0,0	1880,0
ML-320AF	Angra dos Reis	Rio Camorim	29/1/11	575522	7456348	7,2	28,1	3,7	101,3	8,1	0,0	0,1	0,3	1,5	0,1	4,4

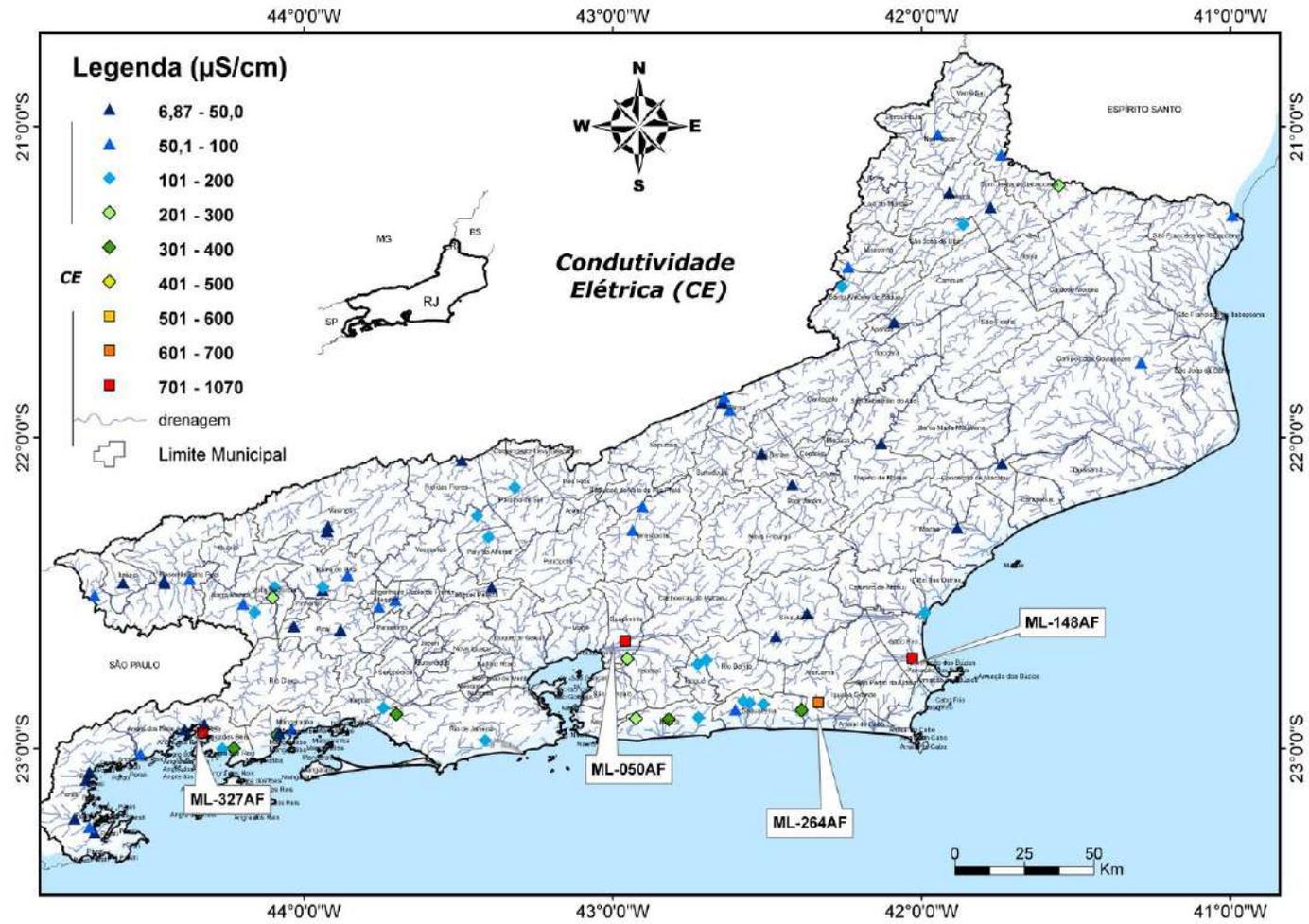
ANEXO II

Mapas de teores

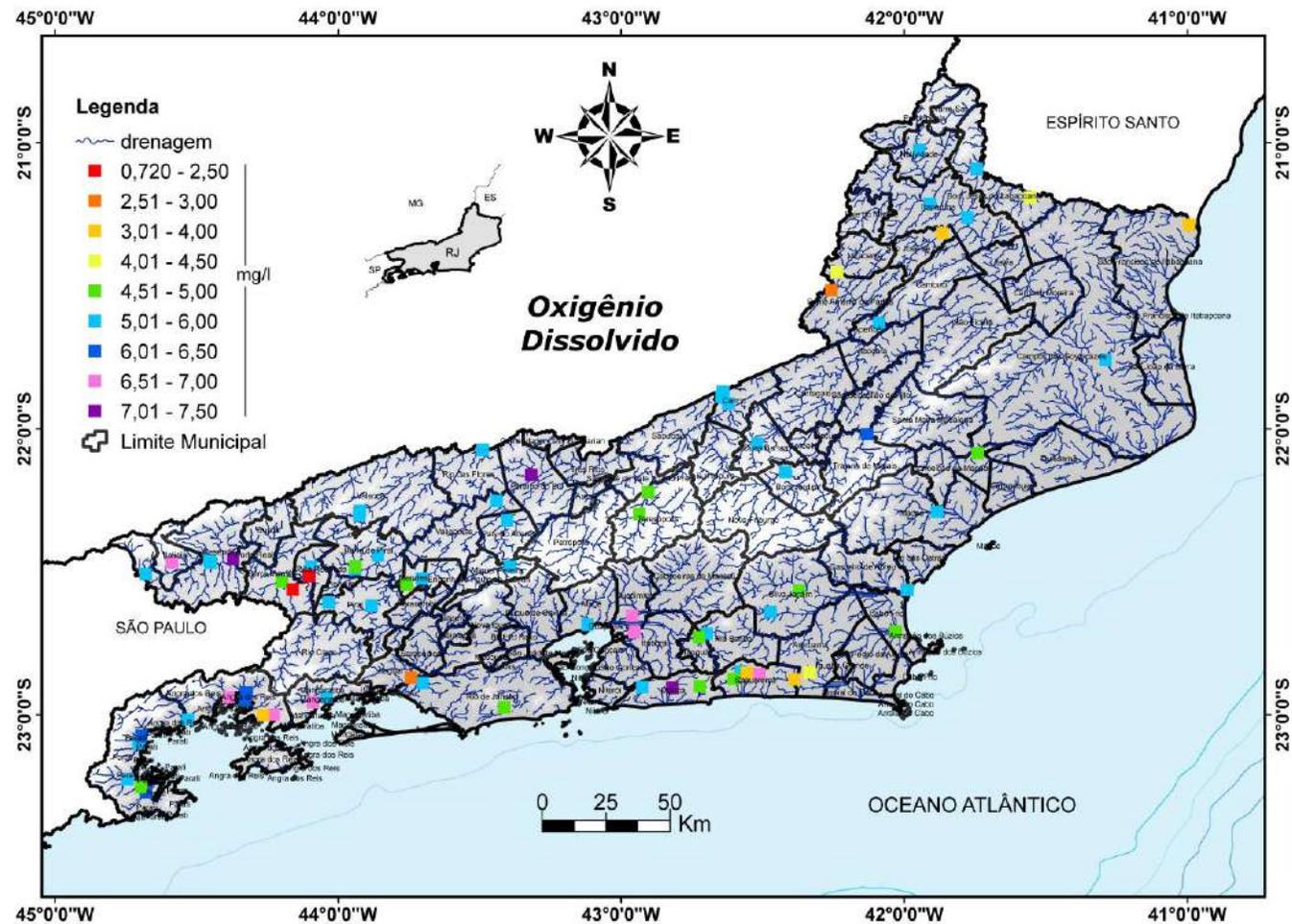
1- Mapa de Teores de pH.



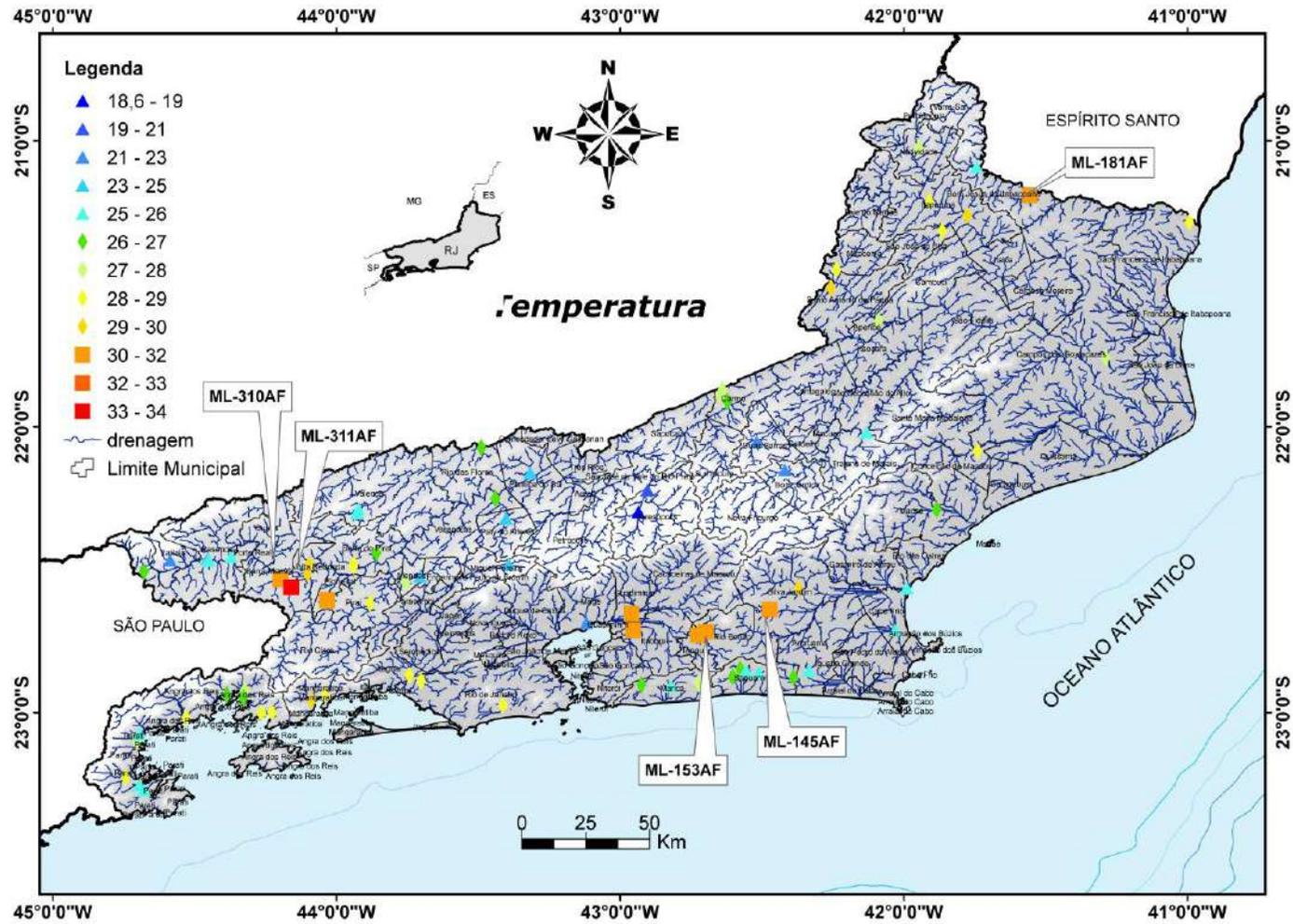
2- Mapa de Teores de Condutividade elétrica (CE)



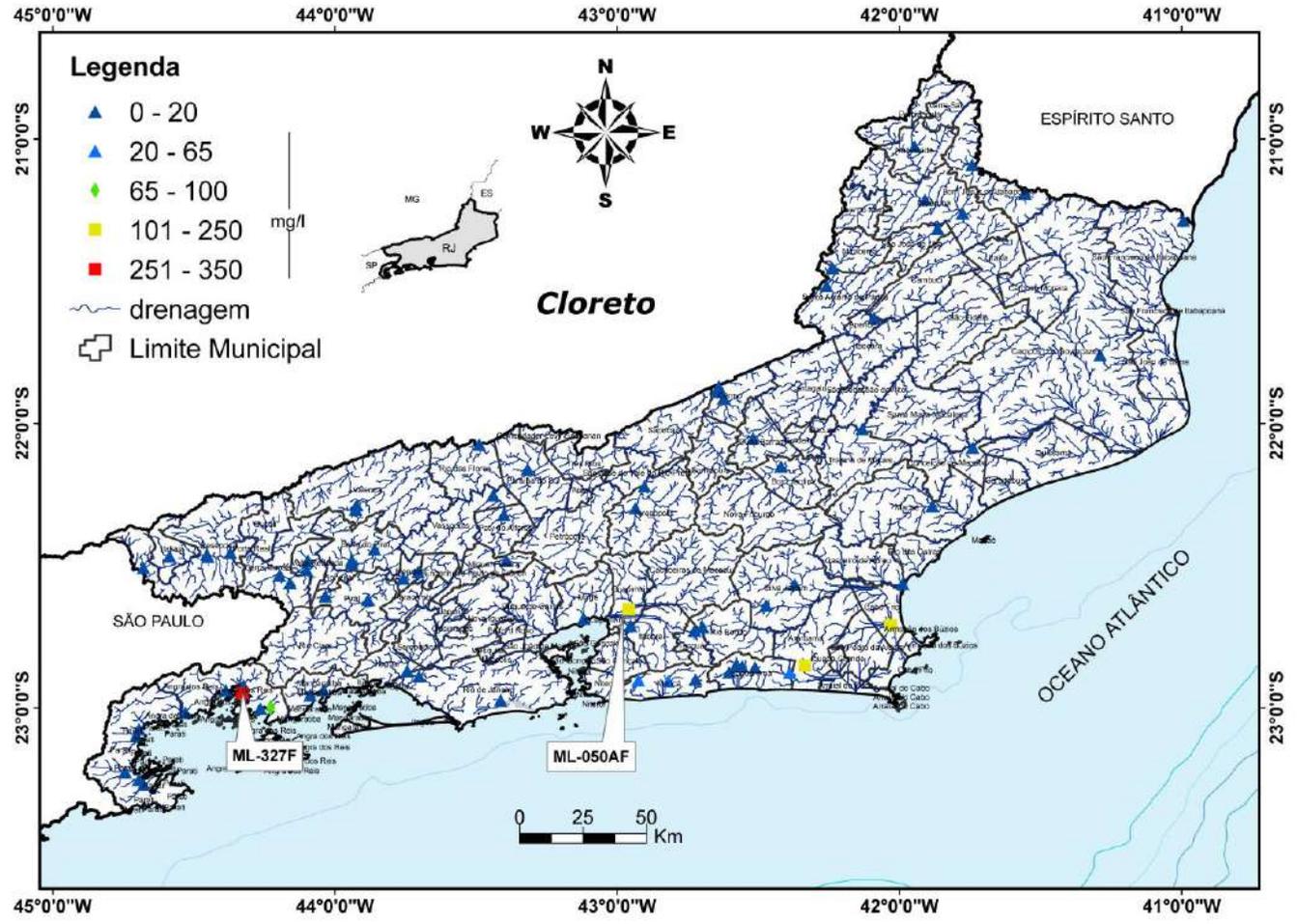
3- Mapa de Teores de Oxigênio Dissolvido (OD)



4- Mapa de Teores de Temperatura

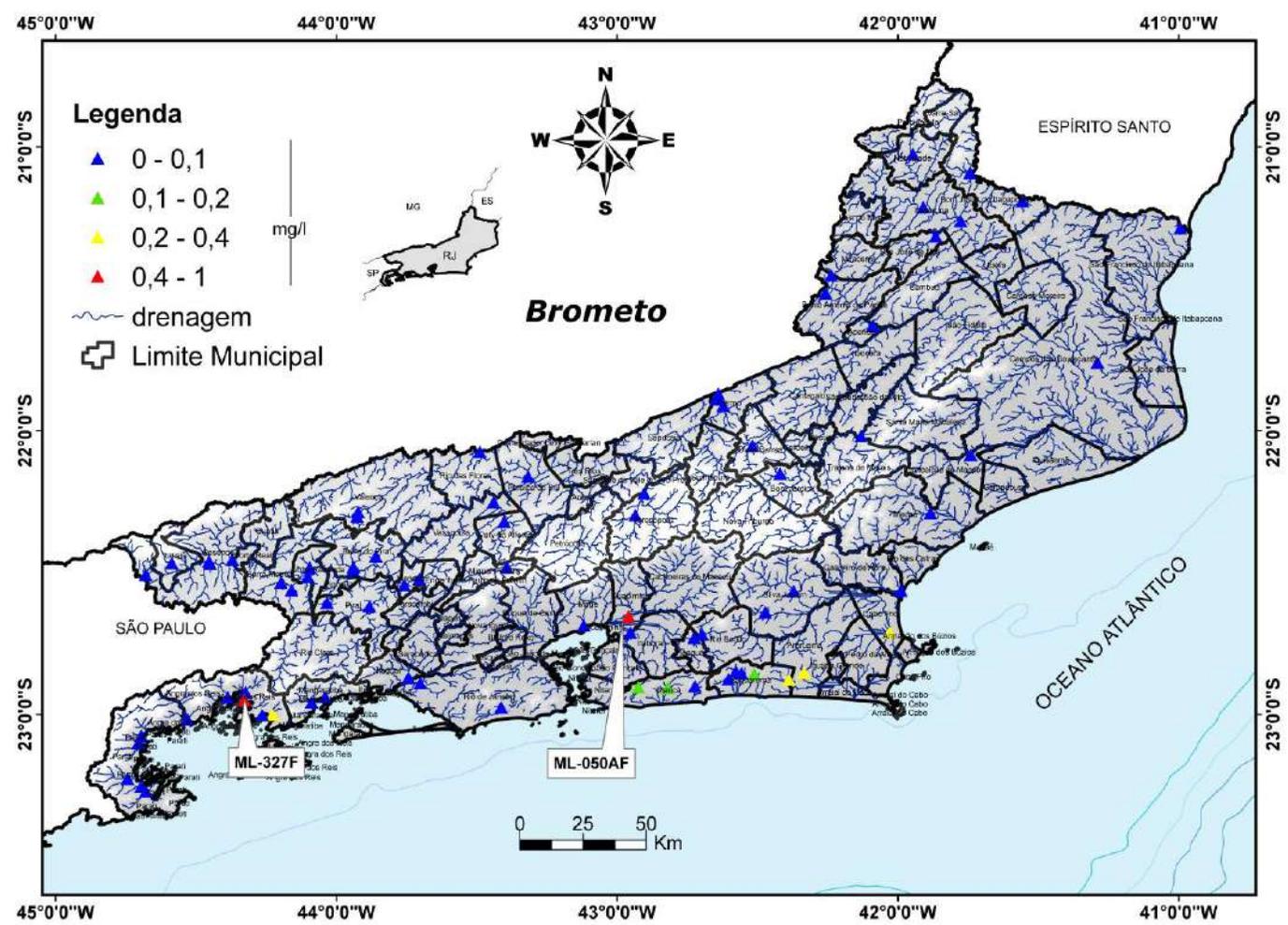


5- Mapa de Teores do íon cloreto



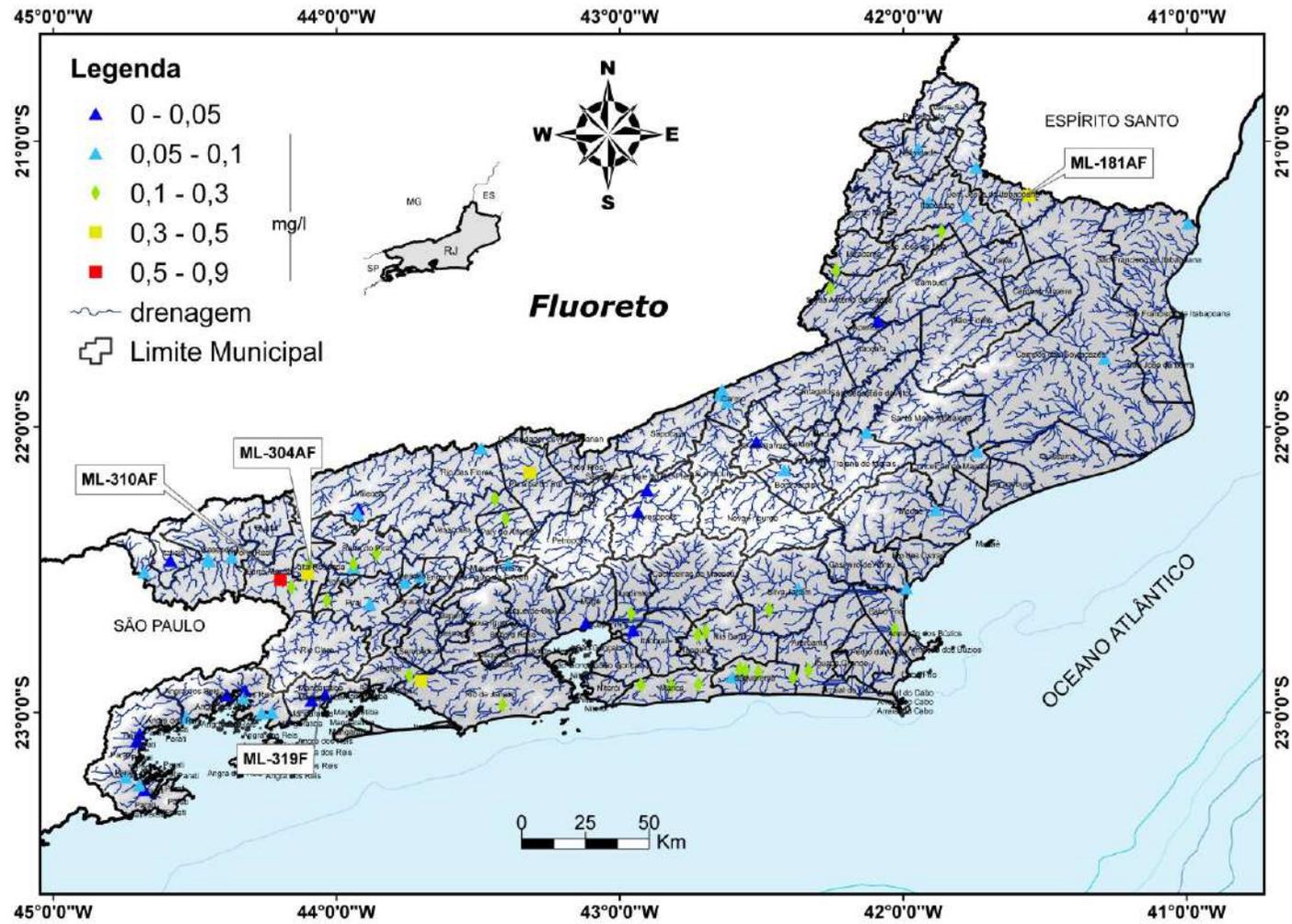
6-

6- Mapa de Teores do íon Brometo

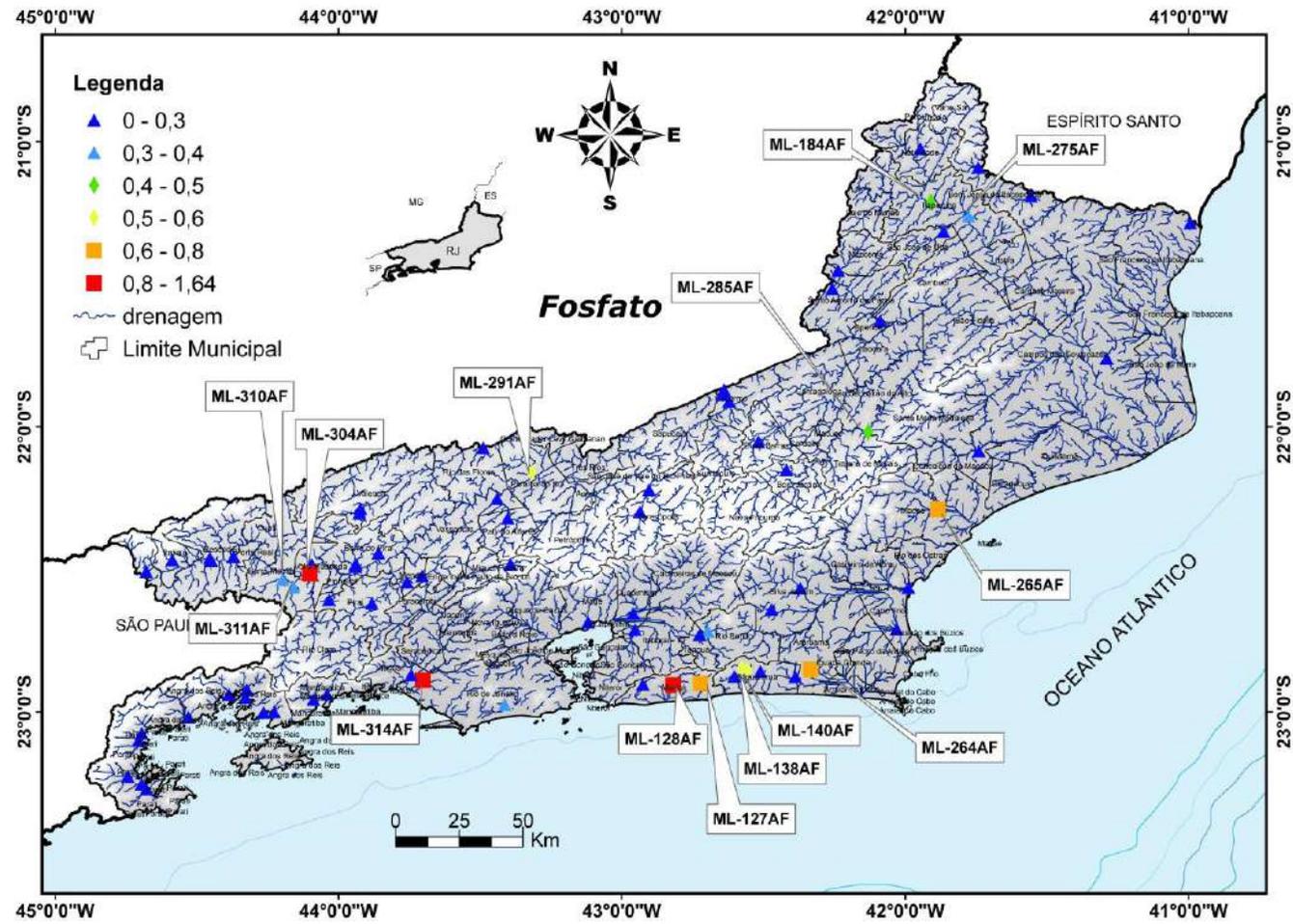


7-

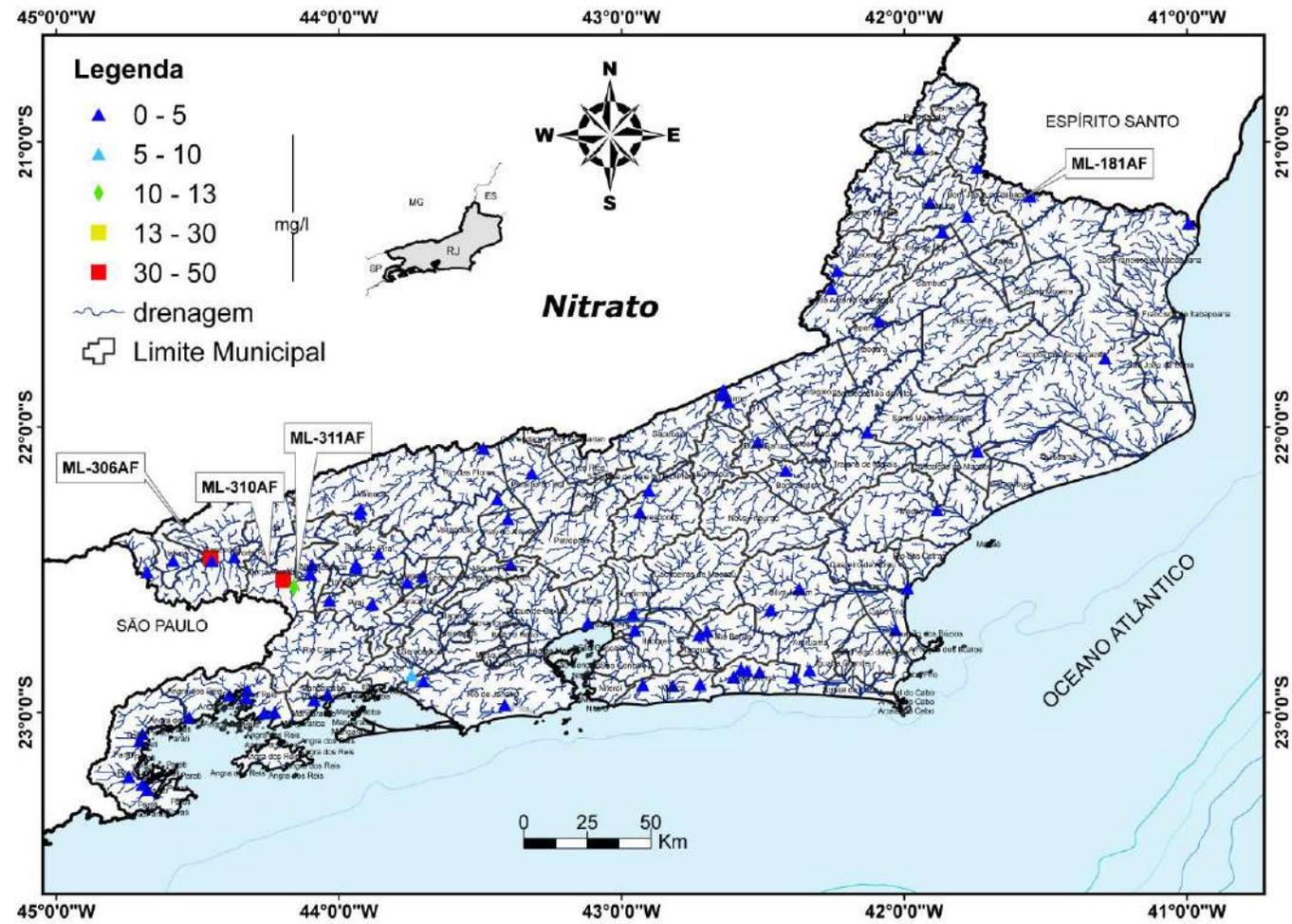
7-Mapa de Teores do íon Fluoreto



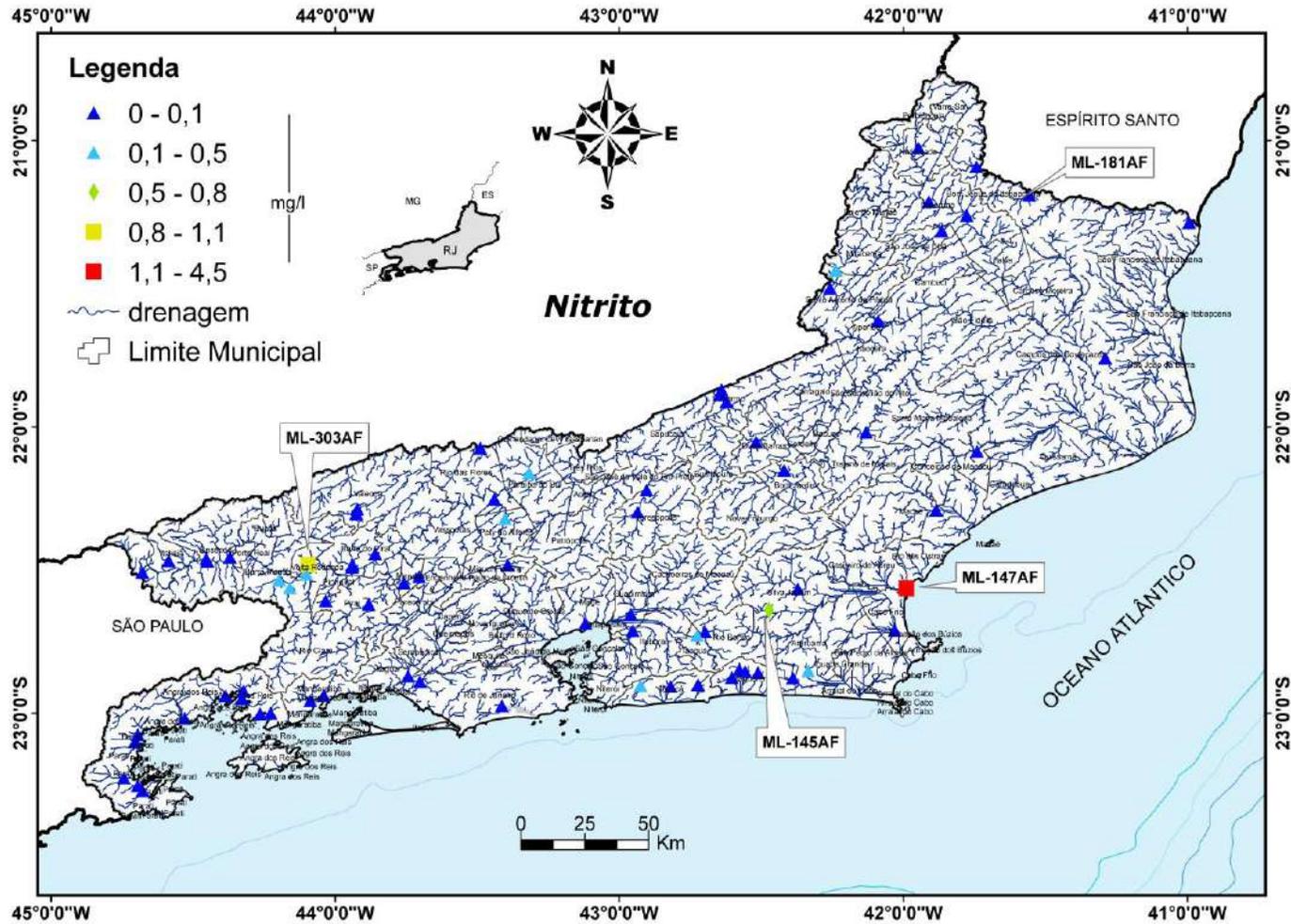
8 – Mapa de Teores do Íon Fósforo



9-Mapa de Teores do íon Nitrato



10-Mapa de Teores do Íon Nitrito



11- Mapa de Teores do Íon Sulfato

