

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PAULA COELHO ARAUJO

**QUALIDADE DE ÁGUA E RELAÇÕES GEOAMBIENTAIS NA BACIA DO
RIO CACHOEIRA, MACIÇO DA TIJUCA/RJ**

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2016

PAULA COELHO ARAUJO

**QUALIDADE DE ÁGUA E RELAÇÕES GEOAMBIENTAIS NA BACIA DO
RIO CACHOEIRA, MACIÇO DA TIJUCA/RJ**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como
requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciência.

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2016

PAULA COELHO ARAUJO

**QUALIDADE DE ÁGUA E RELAÇÕES GEOAMBIENTAIS NA BACIA DO
RIO CACHOEIRA, MACIÇO DA TIJUCA/RJ**

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como
requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciência.

Aprovada em ____ ____ ____

Orientador

Prof. André de Souza Avelar, D. Sc. - IGEO UFRJ

Prof. Manoel do Couto Fernandes, D. Sc. - IGEO UFRJ

Prof^a. Maria Naíse de Oliveira Peixoto, D. Sc. - IGEO UFRJ

Prof^a. Adriana Filgueira Leite, D. Sc. - IGEO UFF

Prof. Otávio Miguez da Rocha Leão, D. Sc. - IGEO UERJ

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me ajudado durante toda a trajetória do doutorado e também por estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, me dando disposição para encerrar este ciclo e ter finalizado esta etapa longa que é a vida acadêmica.

A toda minha família, em especial minha mãe Elizabeth Coelho, que incondicionalmente, me apoiou em toda a minha vida escolar e acadêmica e me fez prosseguir a cada etapa, assim como, à minha querida irmã Ionara Coelho que me deu suporte a todos os momentos e sempre se desdobrou para poder me ajudar. Agradeço pela compreensão delas também, pois sei como em certas horas foi difícil se privar de algumas atividades rotineiras da casa, em prol do silêncio para que eu pudesse ter um melhor desempenho e pudesse me concentrar melhor.

Ao professor orientador André de Souza Avelar, que me ensinou a fazer pesquisa e também, através do seu exemplo, competência e humildade, me mostrou como ter profissionalismo no mercado de trabalho e conquistar aquilo que realmente queremos. Obrigada por esses anos de convivência e pelo encorajamento para a conclusão do doutorado diante das adversidades.

À professora Ana Luíza Coelho Netto, ao professor Manoel do Couto Fernandes e aos colegas de turma do doutorado, em especial ao Eduardo Tomazine, pelo apoio durante uma fase bastante conturbada do curso.

À querida amiga Daniele pelo suporte no desenvolvimento da pesquisa, desde o período do mestrado, e pelas conversas que tivemos durante todos esses anos. Obrigada por tudo Dani, você foi muito importante e contribuiu muito para eu pudesse ter chegado até aqui!

Ao amigo Vitor dos Santos pela amizade, companheirismo de sempre e de todas as horas, obrigada pelo apoio incondicional. À amiga Maria Isabel Martinez pela ajuda nos mapeamentos e pela boa vontade em todos os momentos, à amiga Suelen Alpino pela revisão dos textos, ao Fernando Cesário pelas suas contribuições no tratamento estatístico, à Neiva Carvalho pelo suporte na pesquisa, à amiga Gisele Borges pelas conversas incentivadoras e a todos os membros do laboratório LIEG.

A ONG Terra Azul e a CEDAE por ceder os dados de qualidade de água que foram primordiais para o desenvolvimento deste estudo.

Meus sinceros agradecimentos ao PARNA-Tijuca e principalmente pela funcionária Katyucha Von Kossel pela presteza, atendimento e disponibilidade para contribuir para a pesquisa.

Todos vocês foram essenciais para a obtenção deste título e que para isso pudesse ter acontecido, meus sinceros agradecimentos!

“Human subtlety will never devise an invention more beautiful, more simple or more direct than does Nature, because in her inventions, nothing is lacking and nothing is superfluous.”

Leonardo da Vinci

Resumo

ARAUJO, Paula Coelho. **Qualidade de água e relações Geoambientais na bacia do rio Cachoeira, Maciço da Tijuca/RJ**. Tese (Doutorado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

O estudo da qualidade das águas superficiais foi realizado na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, localizada na Floresta da Tijuca (Maciço da Tijuca), Rio de Janeiro. A ênfase incidiu na análise integrada dos parâmetros de qualidades da água juntamente com as informações do uso do solo e cobertura vegetal, geologia, pedologia. Para tal, foram utilizados os dados de água cedidos pelos órgãos CEDAE e ONG Terra Azul, e a partir da espacialização das estações amostrais foram delimitadas as áreas de contribuição de cada uma. Posteriormente, foram elaborados cartogramas do uso do solo e cobertura vegetal, geologia e pedologia e essas informações foram sobrepostas às áreas de contribuição de cada estação, sendo possível obter a porcentagem e as informações físicas referentes a cada estação de água. A fim de subsidiar a interpretação dos resultados de qualidade de água foram, ainda, utilizados dados de precipitação da bacia mensurados pelo órgão ambiental INEA. A pesquisa revelou que como águas superficiais da bacia encontraram-se com baixas concentrações de poluentes e os resultados que apontaram para índices acima do recomendado por Resolution Conama, foram em função principalmente da precipitação, que em alguns períodos, mostrou-se ácida, mas que Também contribui para uma mobilização de materiais para os canais fluviais, a topografia e o lançamento de efluentes líquidos e detritos sólidos em alguns pontos da bacia. Constatou-se também que, a cobertura vegetal por apresentar um bom estado de conservação contribui significativamente para a preservação das águas dos canais fluviais e o relevo montanhoso auxilia nos excelentes resultados da oxigenação. Destaca-se uma Floresta da Tijuca como fonte principal de manutenção dos bons resultados de água.

Palavras-chaves: qualidade da água; áreas de contribuição; compartimentos geoambientais.

Abstract

ARAUJO, Paula Coelho. **Qualidade de água e relações Geoambientais na bacia do rio Cachoeira, Maciço da Tijuca/RJ**. Tese (Doutorado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The study of surface water quality was carried out in rio Cachoeira watershed, located in the Tijuca Forest (Massif da Tijuca), Rio de Janeiro. The emphasis was on integrated analysis of water quality parameters along with the land use information and vegetation, geology and pedology. To achieve this, water data provided by the CEDAE and NGO Terra Azul were used, and from the spatial distribution of sampling stations were defined the contribution areas of each. Later, were made cartograms of land use and land cover, geology and soil conditions and the information was overlapping the contribution areas of each season, thereby it was possible to obtain the percentage and physical information on each water station. In order to support the interpretation of water quality data were also used rainfall data measured by the environmental agency INEA. The research revealed that surface waters of the basin were found with low concentrations of pollutants and the results that pointed to indexes above that recommended by Conama Resolution were mainly due: the precipitation, which in some periods was acidic, but it also contributes to the mobilization of materials; the topography; the discharge of liquid effluents and solid debris in some parts of the basin. It was also observed that a vegetation cover due to its good conservation status contributes significantly to the preservation of the waters of the river channels and the mountainous relief helps in the excellent oxygenation results. The Tijuca Forest stands out as the main source of maintenance of good water results.

Keywords: water quality; contribution areas; geoenvironmental compartments.

Lista de figuras

Figura 2.1: Desmatamento da Mata Atlântica	13
Figura 3.1: Mapa de localização do maciço da Tijuca	21
Figura 3.2: Mapa de localização da bacia do rio Cachoeira	22
Figura 5.1: Organograma contendo a base metodológica da pesquisa	35
Figura 5.2: Mapa das estações de coleta de água espacializadas na bacia do rio Cachoeira	37
Figura 5.3: Estação Afloramento rochoso	39
Figura 5.4: Estação Fonte Azulejo	39
Figura 5.5: Ponto de coleta Riacho Bom Retiro	40
Figura 5.6: Fonte de coleta das águas do Rio Archer	41
Figura 5.7: Fonte localizada na Capela Mayrink	41
Figura 5.8: Fonte Humaitá	42
Figura 5.9: Fonte localizada no Vale São Miguel (Rio Solidão)	42
Figura 5.10: Cascatinha Taunay (Rio Tijuca)	43
Figura 5.11: Fonte Stella	44
Figura 5.12: Fonte Taunay situada no Mirante Cascatinha	44
Figura 5.13: Fonte Wallace	44
Figura 6.1: Mapa das áreas de contribuição dos pontos amostrais de coleta de água	53
Figura 6.2: Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal referente ao ano de 2004	54
Figura 6.3: Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal referente ao ano de 2010	55
Figura 6.4: Mapa geológico do maciço da Tijuca	56
Figura 6.5: Mapa pedológico do maciço da Tijuca	57
Figura 6.6. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos aos substratos geológicos	58
Figura 6.6. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos aos substratos geológicos	59
Figura 6.7. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos à pedologia	60
Figura 6.7. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos à pedologia	61
Figura 6.8. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos ao Uso do solo e cobertura vegetal	62

Figura 6.8. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos ao Uso do solo e cobertura vegetal	63
Figura 6.9: Gráficos referentes às composições geológicas por estação	64
Figura 6.10: Gráficos referentes às composições pedológicas por estação	65
Figura 6.11: Gráficos referentes ao Uso do solo e cobertura vegetal por estação	66
Figura 6.12: Elementos agrupados e a contribuição dos mesmos	67
Figura 6.13: Biplot da correlação entre as variáveis e as estações amostrais	68
Figura 6.14: Variação espaço-temporal da CE para os pontos amostrais pesquisados	70
Figura 6.15: Variação da CE nos pontos amostrais Rio Tijuca e Rio Boa Vista	72
Figura 6.16: Composição geológica, do uso do solo e cobertura vegetal e pedologia da estação Rio Boa Vista	72
Figura 6.17: Estatística descritiva para condutividade elétrica	73
Figura 6.18: Diagrama de dispersão entre sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica	74
Figura 6.19: Variação de STD nas estações amostrais	75
Figura 6.20: Estatística descritiva para sólidos totais dissolvidos	76
Figura 6.21: Correlação entre CE, STD e precipitação na estação Fonte Azulejo	77
Figura 6.22: Variação espaço-temporal de pH nas estações amostrais	78
Figura 6.23: Composição geológica e do uso do solo e cobertura vegetal da estação Afloramento rochoso	79
Figura 6.24: Desvio padrão para pH	80
Figura 6.25: Variação espaço-temporal de OD nas estações amostrais	81
Figura 6.26: Correlação de pH, OD e precipitação na estação Humaitá	83
Figura 6.27: Correlação de pH, OD e precipitação na estação rio Tijuca	84
Figura 6.28: Variação de fosfato nos pontos amostrais	85
Figura 6.29: Correlação de pH, OD e precipitação na estação rio Solidão	86
Figura 6.30: Variação de nitrato nas estações de coleta de água	88
Fig. 6.31: Uso do solo e cobertura vegetal das estações Afloramento rochoso, Rio do Conde e Riacho Bom Retiro	89
Fig. 6.32: Precipitação comparada ao fosfato, nitrato e nitrito	91
Fig. 6.33: Variação de nitrato nas estações de coleta de água	92
Fig. 6.34: Uso do solo e cobertura vegetal na estação Rio Boa Vista	93

Lista de tabelas

Tabela 5.1: Estações amostrais de coleta de água.....	38
Tabela 5.2: Classificações utilizadas para os mapas de uso do solo e cobertura vegetal	48
Tabela 6.1: Resultados do nitrito na água e estatística descritiva	94

Lista de Abreviaturas

CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Evapotranspiração
EPA	US Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GPS	Global Positioning Satellite
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPP	Instituto Pereira Passos
M.O.	Matéria Orgânica
mg/L	Miligrama por Litro
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
µs/cm	microSiemens
OD	Oxigênio Dissolvido
ONG	Organização não Governamental
P	Fósforo
PARNA-Tijuca	Parque da Tijuca
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNT	Parque da Tijuca
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
STD	Sólidos totais dissolvidos
UC	Unidade de Conservação
WHO	World Health Organization

Sumário

1) INTRODUÇÃO	1
2) A FLORESTA DA TIJUCA SOB UMA PERSPECTIVA MULTIESCALAR: A REMOÇÃO DA FLORESTA E OS IMPACTOS NOS COMPARTIMENTOS GEOSISTÊMICOS	7
3) CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA LABORATÓRIO DA PESQUISA	18
3.1) Bacia do rio Cachoeira	20
4) QUALIDADE DA ÁGUA: BASES TEÓRICAS, DISCUSSÕES RELACIONADAS À TEMÁTICA E DOMÍNIOS GEOECOLÓGICOS ASSOCIADOS AO ESTUDO.....	24
4.1) Precipitação	28
4.2) Solo	29
4.3) Uso do solo.....	30
5) METODOLOGIA	34
5.1) Levantamento das bases teórico-metodológicas	34
5.2) Banco de dados hidrológicos e desenvolvimento	36
5.3) Levantamento dos dados pluviométricos.....	45
5.4) Bases cartográficas	45
5.5) Elaboração dos cartogramas.....	46
5.6) Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal	47
5.7) Delimitação das áreas de contribuição	48
5.8) Análise estatística.....	49
6) RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1) Produção cartográfica e resultados.....	51
6.2) Resultados estatísticos.....	67
6.3) Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água	69
6.3.1) Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.....	69
6.3.2) pH e Oxigênio dissolvido.....	76
6.3.3) Fosfato, nitrato e nitrito.....	82
7) CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

1) INTRODUÇÃO

A preocupação com as questões ambientais tem se destacado cada vez mais na Geografia, em função dos diversos impactos gerados no ambiente e, conseqüentemente, as discussões em torno desta temática e especialmente sobre a escassez dos recursos hídricos têm sido ampliadas. Dentro desse contexto, a água vem progressivamente assumindo maior relevância nos movimentos e nas políticas internacionais, uma vez que significativa parcela da sociedade tem sofrido com a redução dos volumes hídricos e a degradação da qualidade da água.

Os recursos hídricos estão inseridos em um capítulo da Agenda 21 (1997), que destacou sobre o caráter multissetorial da água para o desenvolvimento socioeconômico, assim como para o abastecimento de água potável e saneamento, agricultura, indústria e desenvolvimento. Este capítulo retrata, ainda, sobre questões essenciais para conservação da água como: a proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos; a preocupação com a água e o desenvolvimento urbano sustentável; os impactos da mudança do clima sobre os recursos hídricos, dentre outros.

A Rio +20 foi outra Conferência internacional ocorrida no ano de 2012, na cidade do Rio de Janeiro, no qual os órgãos internacionais discutiram sobre as questões e planos de ações relacionados aos recursos hídricos. O texto final reconheceu a água como recurso para a sustentabilidade e destacou a sua importância, assim como, a do saneamento básico. Foram retratados também os antigos compromissos para a ampla acessibilidade da água potável e saneamento pelas populações, bem como, ações que garantam a proteção e gerenciamento sustentável dos ecossistemas, devido ao seu papel fundamental para a manutenção da qualidade e quantidade de água.

Os tradicionais modelos de desenvolvimento do século passado, que consideravam a utilização desmedida dos recursos naturais em favor apenas das atividades econômicas, estão sendo substituídos por políticas ambientais que priorizam a gestão da água baseada nos moldes sustentáveis. No Brasil, com a adoção destas medidas, novas ações descentralizadoras estão sendo geradas proporcionando a modernização das políticas atreladas à conservação dos recursos hídricos, permitindo um maior envolvimento da comunidade local e possibilitando a implantação de um sistema de monitoramento mais efetivo.

O marco destas políticas no país, que tem como finalidade a sustentabilidade e conservação dos recursos hídricos, foi a criação da Política Nacional dos Recursos Hídricos – Lei 9.433/1997 que engendrou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e baseou-se nos fundamentos de que a água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado dotado de valor econômico e a gestão deve proporcionar o uso múltiplo das águas. A PNRH subsidiou, ainda, a criação da Resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, assim como, as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Felippe (2009) retrata que essas ações são necessárias devido ao papel relevante que a água tem na natureza ou no ambiente, contribuindo significativamente para a manutenção do equilíbrio natural e fisiológico da biota. Além disso, atua na modelagem do relevo, sendo indispensável na formação dos processos pedológicos, contribuindo ainda, para a produção do espaço geográfico ao condicionar as atividades do homem no espaço.

Magalhães Júnior (2000) retrata que o sucesso de qualquer sistema de gestão das águas está atrelado a um plano de monitoramento adequado, que gere a composição de um banco de dados e informações, a fim de viabilizar projetos de investimentos em recursos hídricos. Desta forma, a Agência Nacional das Águas (ANA) no Brasil, assim como, outras agências ambientais internacionais adotaram o monitoramento da qualidade da água, como medida de gerenciamento, que consiste na análise do estado físico, biológico e químico dos corpos hídricos, a fim de conservar o recurso e prevenção de uma possível escassez do mesmo. Nesse sentido, compreende-se que não se pode gerenciar aquilo que não se conhece e não possui informações. É preciso, portanto, quantificar para se conhecer os estoques hídricos e as alterações no uso da água do país.

As pesquisas iniciais que se baseavam na premissa físico-químico-biológica se atentavam apenas aos resultados quantitativos que eram obtidos, não considerando as diversas atividades desenvolvidas pelo homem - como a industrialização e agricultura-, que geram fontes poluentes pontuais e não pontuais, e por sua vez, estas atingem os canais hídricos contribuindo significativamente para alterações na água.

Para Christofolletti (1999) as pesquisas tradicionais que objetivam apenas a obtenção de dados numéricos, basicamente quantitativas, e voltadas para a aplicação de modelos matemáticos, nas quais se destinavam a representar diferentes microambientes

e investigar somente a influência de fatores individuais são classificadas pelo autor como abordagens reducionistas. Logo, os fenômenos devem ser compreendidos de forma mais abrangente, já que “o todo possui propriedades que não podem ser explicadas em termos de seus constituintes individuais” (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Lenat & Crawford (1994) afirmaram que os pesquisadores ao associarem os efeitos das atividades humanas ao estado em que a água se encontrava, começaram a considerar que a influência do uso do solo era muito expressiva nas pesquisas de qualidade de água. Os autores, ainda, alertaram para que os órgãos que planejam e executam as políticas territoriais também insiram o monitoramento dos canais fluviais em suas pautas, já que diversos estudos como o Leopold (1989) demonstraram mudanças no ciclo hidrológico – como redução da infiltração das águas, aumento do volume do escoamento superficial – e poluição dos cursos d’água devido às ações antrópicas.

Por razões naturais, mas principalmente antropogênicas, as partículas deslocadas dos solos através dos processos de intemperismo e erosão, também atingem os canais fluviais e com isso transportam contaminantes. Baird (2002) acrescenta que alguns contaminantes são transportados mais facilmente a partir de sua adsorção nas partículas de argila, que por sua vez, são disponibilizadas pelas perdas do solo. Em áreas em que há predomínio da agricultura, o revolvimento do solo associado a técnicas agrícolas tradicionais, com uso intenso de fertilizantes orgânicos e químicos, liberam sedimentos que causam eutrofização nos rios, dispersão dos contaminantes e, por conseguinte, aumento da turbidez e condutividade elétrica na água.

Já nas bacias florestais, as alterações na qualidade estão atreladas à conversão das florestas em usos antrópicos, que permitem que haja maior movimentação e dispersão dos nutrientes e sedimentos, uma vez que a cobertura vegetal colabora significativamente para que as partículas e compostos químicos se fixem no solo. Todavia, as modificações também na qualidade da água podem ser decorrentes de fatores naturais, como a decomposição dos vegetais que geram e liberam ácidos húmicos e fúlvicos na água, tendendo a acidificá-la.

A contribuição natural, de origem geológica, para a qualidade da água se dá através do contato da água com as rochas, que promovem as reações químicas, alterando a sua composição. A disponibilização destes elementos na água irá depender do grau de intemperismo e da estrutura e litologia local. Leite (2006) identificou na pesquisa desenvolvida na bacia do Rio Bananal (localizada entre os estados de São

Paulo e Rio de Janeiro) que os elementos presentes nos minerais das rochas e dos materiais do regolito foram também encontrados na geoquímica da água da bacia em questão, concluído desta maneira que, através do lixiviamento das partículas resultantes do intemperismo ou do contato entre os compartimentos rocha e água, estes minerais chegavam até os cursos hídricos, influenciando na sua concentração natural.

O ciclo hidrológico também contribui para que o solo altere a qualidade da água. Com a incidência da precipitação, as águas pluviais tem como destino a infiltração ou o escoamento superficial. Com relação à infiltração, verifica-se que a água percola pelos os horizontes do solo favorecendo a lixiviação dos minerais, que por sua vez, podem atingir as águas subterrâneas. Já o escoamento superficial favorece o transporte dos minerais do solo e as partículas do solo erodido, juntamente com os contaminantes adsorvidos nas argilas, atingindo destas formas os canais fluviais. Nesse sentido, ambos os processos irão contribuir para que os sedimentos ou partículas transportadas levem consigo as características químicas e contaminantes adsorvidos para as águas superficiais e subterrâneas, alterando suas características.

Posto estas informações, o delineamento de um sistema de gestão de recursos hídricos deve contar com uma abordagem holística, perpassando pelo conhecimento da interação entre rochas, solo, vegetação e água, fundamentando-se também nas mensurações de precipitação, além de considerar os processos que contribuem para a dispersão dos elementos químicos - tais como a erosão e o intemperismo-, e por fim, incorporar na análise as atividades desenvolvidas neste espaço geográfico.

No que concerne ao sítio urbano, verifica-se que há constantes modificações, devido às ações de cunho social desenvolvidas neste espaço. Diante dessas transformações, os problemas ambientais são evidenciados e trazem desafios inúmeros à sociedade, como: os processos relacionados à urbanização e suas implicações, com edificações e impermeabilização dos solos, acelerando o escoamento superficial para os canais e deteriorando a qualidade das águas; a ocupação desordenada nas proximidades dos leitos dos sistemas hídricos superficiais, dos quais desastres são deflagrados como a ocorrência das inundações; desvio e canalização das águas pluviais que vêm alterando também a hidrologia natural (ARAUJO *et al.*, 2007).

Além disto, os processos de urbanização favorecem a lixiviação e a compactação do solo, que por sua vez, reduzem a porosidade total e o volume dos macroporos no solo, acarretando na redução das taxas de infiltração. Nesse sentido, o fluxo superficial hortoniano irá ocorrer nesses solos degradados e conforme Neary *et al.* (2009) algumas

superfícies foram tão alteradas/degradadas que as taxas de infiltração se aproximaram de zero e 100% das chuvas incidentes apresentaram fluxo superficial.

As unidades de conservação atuam como amortecedores dos impactos mencionados na água e quando inseridas no contexto urbano prestam diversos serviços ambientais, minimizando as pressões oriundas das ações urbanas. Esta pesquisa tem como área de estudo a bacia do rio Cachoeira, localizada na Floresta da Tijuca (inserida no maciço da Tijuca, cidade do Rio de Janeiro) e esta opera como um importante regulador climático e contribui para a recarga dos aquíferos. Além disto, a floresta é um “importante centro armazenador e distribuidor de águas pluviais, de onde convergem descargas fluviais (líquidas, sólidas e solúveis) para as baixadas circundantes, antes de desaguarem em seus respectivos reservatórios terminais” (COELHO NETTO, 2005, p. 48).

Na pesquisa de Silva (2014) foi destacado o papel fundamental que os mananciais existentes na bacia do rio Cachoeira exercem. Estes canais fluviais abastecem as residências ou ocupações de caráter formal e informal do entorno, a partir da canalização das águas nas nascentes. Nesse sentido, o uso que se faz deste recurso é intenso e o autor destaca a importância do monitoramento dos recursos hídricos em toda a unidade de conservação, em função de um possível cenário de poluição das águas.

Diante disso, a pesquisa de qualidade das águas na bacia em questão justifica-se pelo papel ambiental e social que presta para os moradores locais, garantindo este recurso aos mesmos, que é vital para a sobrevivência humana. Cabe mencionar que a bacia do rio Cachoeira, aliada a rede de drenagem da Floresta da Tijuca e juntamente com toda a estrutura florestal da unidade de conservação, contribui para a minimização dos impactos antrópicos, produz água e traz inúmeros benefícios para a cidade do Rio de Janeiro e as áreas de baixadas do entorno. Além disto, a própria legislação retrata sobre a relevância da investigação das águas superficiais no contexto ambiental, pautando pela Política Nacional dos Recursos Hídricos.

Pelo exposto, identifica-se também a necessidade de investigar a qualidade de água em águas superficiais da floresta, tendo em vista que essas águas podem estar tendo sua composição alterada pelo uso inadequado, desta forma, este é um parâmetro substancial para a determinação da qualidade ambiental da bacia.

O monitoramento, desta forma, mostra-se como uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, visto que avalia o estado da bacia hidrográfica, identifica possíveis riscos de contaminação ou poluentes que a água possa estar recebendo e

permite desenvolver planos de ação, auxiliando também no planejamento territorial da bacia hidrográfica, já que a pesquisas investigativas na água realizadas periodicamente apontam estas possíveis fontes de perturbação do meio ambiente.

Nas pesquisas de qualidade da água, os pontos amostrais selecionados para a coleta de água sofrem influência de diversos fatores naturais e antrópicos, como supracitados anteriormente, nesse sentido, esta pesquisa fez a delimitação das áreas de contribuição de cada estação amostral e, em seguida, estas áreas foram sobrepostas as informações referentes ao uso do solo, cobertura vegetal, pedologia e geologia da bacia e as análises foram feitas junto às variações de precipitação. Desta forma, apesar dos pontos amostrais estarem localizados na mesma bacia hidrográfica, estabeleceu-se a hipótese de que as áreas de contribuição pertencentes às estações amostrais apresentam respostas de qualidade da água distintas, frente às variações dos compartimentos físicos e as influências diferenciadas do uso do solo - principalmente no que tange a ação humana.

A utilização desta metodologia é inovadora ao ser empregada em pesquisas de qualidade de água, uma vez que a literatura não aborda a realização de estudos anteriores como este. Já a contribuição do trabalho utilizando este método está na possibilidade da realização de análises espaciais, de uma forma integrada dos vários compartimentos ambientais e fatores antrópicos que alteram as condições da água. A bacia do Cachoeira possui 16,48 Km² de extensão, se a análise ficasse restrita a apenas trabalhos de campo poderia ser tornar limitada ou mesmo inviável. Nesse sentido, o objetivo geral da pesquisa consiste em investigar a qualidade da água na bacia do rio Cachoeira, baseando-se nas respostas apresentadas pelas áreas de contribuição em conjunto com as variáveis físicas e antropogênicas.

Com relação aos objetivos específicos buscou-se:

- compreender a variação espaço-temporal dos elementos de qualidade de água investigados;
- identificar como uso do solo, cobertura vegetal, pedologia, geologia e precipitação local interferem nos resultados da água;
- verificar como as pressões e impactos antropogênicos alteram a qualidade de água;
- estabelecer a correlação entre os parâmetros de água e as estações amostrais, a partir de análises estatísticas.

2) A FLORESTA DA TIJUCA SOB UMA PERSPECTIVA MULTIESCALAR: A REMOÇÃO DA FLORESTA E OS IMPACTOS NOS COMPARTIMENTOS GEOSISTÊMICOS

Conforme apontado por Castro (1995), os fenômenos possuem uma dimensão de ocorrência, de observação e de análise mais profunda, desta forma, a escala deve ser evocada para melhor observar o fenômeno, dimensioná-lo e mensurá-lo, permitindo assim, maior apreensão e conferindo visibilidade ao fenômeno. Ainda de acordo com a autora, a escala geográfica pode ser definida como a:

“escolha de uma forma de dividir o espaço, definindo uma realidade percebida/concebida, é uma forma de dar-lhe uma figuração, uma representação, um ponto de vista que modifica a percepção mesma da natureza deste espaço e, finalmente, um conjunto de representações coerentes e lógicas que substituem o espaço observado”. (CASTRO, 1995, p. 136)

Coelho Netto (1994) acrescenta que a problemática relacionada ao conceito de escalas juntamente com os processos geocológicos possui grande importância, tendo em vista que demonstrará a amplitude de observação dos fenômenos, as conexões existentes entre os componentes do sistema, assim como o nível de detalhamento necessário dos elementos da paisagem.

Diante deste conceito-chave, os estudos geográficos não devem menosprezá-lo, pois como categoria fundamental de análise, contribui significativamente para o entendimento dos fenômenos espaciais. Logo, a análise multidimensional espaço-tempo se faz substancial para a compreensão da organização espacial como demonstrado por Santos (1992), De Boer (1992), Harvey (1996), Abreu (1992; 1998; 2006) e Ab’Sáber (2003). Ainda assim, poucos estudos inserem a perspectiva temporal à dimensão espacial.

Santos (1992) emprega uma análise espaço-temporal para a melhor compreensão do espaço, já Abreu (2006) acrescenta que se faz necessário compreender as normas institucionais do passado, para obter melhor entendimento dos espaços atuais e intervir de maneira eficaz sobre os mesmos. Para Monteiro (2000), as diversas escalas de espaço e tempo precisam relacionar-se a fim de se compreender a realidade, que se mostra dinâmica e multifacetada.

As pesquisas no que tange aos estudos ambientais devem ponderar que as formas atuais da paisagem foram estabelecidas a partir do acúmulo de processos em distintos períodos de tempo. Ab´Saber (2003, p. 10) salienta que a paisagem é resultado das “heranças de processos de atuação antiga, remodelados e modificados por processos de atuação recente”. Logo, a dimensão escalar temporal deve ser evocada na tentativa de compreender a atual forma da paisagem. De Boer (1992) indica que as abordagens têm apontado para o problema de escala espacial e a interação entre escalas espaciais e temporais.

Cabe ressaltar que, juntamente com a investigação interescalar espaço-temporal, se faz necessário não apenas incorporar aos estudos a estrutura e a dinâmica ecológica, mas também os processos que foram produzidos, que geraram por sua vez a fragilização dos espaços naturais no decorrer da história. Figueiró (2005, p.30) entende que somente através deste método, será possível “pensar nas possibilidades de recuperação e manutenção frente à pressão dos usos presentes e futuros”.

Para se compreender as relações entre a sociedade e a água na cidade do Rio de Janeiro, faz-se necessário analisar os fenômenos e processos ocorridos, que perpassam por diversas escalas espaciais e temporais na cidade.

2.1) Geossistemas florestais e respostas dos compartimentos ambientais

Os processos envolvidos no ciclo hidrológico, que serão mais detalhados no próximo capítulo, consistem na circulação de água no planeta devido às variações de entrada de energia e modificações do estado físico da água. A partir da precipitação, uma porção da água irá evaporar ou ser interceptada pela vegetação, antes mesmo de atingir a superfície, e a outra parte, irá infiltrar, até saturar os poros do solo, gerando um escoamento subsuperficial (COELHO NETTO, 1995; SUMMERFIELD, 1991). Quando a umidade presente no solo estiver elevada, a água tende a percolar lateralmente no solo em direção aos rios através do escoamento superficial (DUNNE & LEOPOLD, 1978).

A prática do desmatamento ou queimadas promovem alterações nos fluxos envolvidos no ciclo hidrológico. De acordo com Tucci (2002), dentre as consequências destas práticas estão: o aumento do albedo, já que a vegetação tende a absorver maior quantidade de radiação de onda curta e, por conseguinte, refletir menos; haverá maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies.

Em áreas florestais a evapotranspiração (ET) é alta em função da baixa taxa de albedo, das baixas temperaturas da superfície diurna, da alta rugosidade aerodinâmica (devido à baixa resistência aerodinâmica ao transporte de vapor de água), das áreas foliares serem maiores, em função do alto armazenamento de interceptação pelas chuvas, além das raízes serem profundas. A ET é maior em florestas tropicais, do que em outros tipos de cobertura da terra (BRUIJNZEEL, 2001), no entanto, variações nas taxas de evapotranspiração ocorrem a partir de transformações no uso e cobertura do solo (LEE, 2010).

Nesse sentido, alterando as taxas de ET, obviamente a precipitação local também será alterada. O estudo de Eltahir e Bras (1996) estimou que de 25 a 56% da precipitação amazônica é derivada da ciclagem da água evaporada no interior da bacia, logo, se a evaporação for reduzida pelo desmatamento, a precipitação, por sua vez, também irá. A literatura aborda sobre alguns modelos de previsão do clima em que em cenário futuro haverá diminuição da precipitação devido à ET reduzida (HAHMANN & DICKINSON, 1997).

No que se refere aos aspectos relacionados ao solo, em geral, as florestas tropicais possuem maior capacidade de infiltração e realizam este processo de uma forma mais rápida, devido aos valores de condutividade hidráulica do solo serem mais elevados, assim como, dispor de um dossel denso e de um sub-bosque que retém alto teor de matéria orgânica (LIMA *et al.*, 2013). Assim, alterações no uso do solo florestal produzirão alterações hidrológicas e climáticas, que por sua vez, irão afetar a umidade do solo, reduzindo a sua capacidade de infiltração.

Em se tratando de áreas urbanas, os processos como a lixiviação e a compactação do solo reduzem a porosidade total e o volume dos macroporos no solo, acarretando a redução das taxas de infiltração. Estes fatores, aliados com a redução da condutividade hidráulica nos solos, promovem o aumento o fluxo superficial hortoniano, que é uma significativa fonte de erosão fluvial em áreas desflorestadas. Neary *et al.* (2009) demonstraram em seus estudos que algumas superfícies foram tão alteradas que as taxas de infiltração se aproximaram de zero e 100% das chuvas incidentes apresentaram fluxo superficial.

A pesquisa de Alvarenga *et al* (2016), objetivando analisar os efeitos de possíveis cenários de mudança de cobertura na bacia estudada, utilizaram como metodologia a simulação e observação de componentes hidrológicos uma pequena bacia florestada, a partir do Modelo de Distribuição Hidrológica no Solo e na Vegetação

(DHSVM). Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que as alterações promovem aumento de 22% no escoamento superficial, diminuição de 71% de interceptação do dossel, redução em 30% da evapotranspiração e 10% da profundidade do lençol freático.

As investigações também relacionadas ao fluxo de base nos canais fluviais são também apontadas como um impacto do desflorestamento. De acordo com Price (2011), a redução na disponibilidade de água dos aquíferos, assim como na ET da bacia, diminui o fluxo que alimenta os canais em períodos mais secos. A tendência para o declínio do fluxo de base associada à urbanização também foi constatado entre alguns estudos disponíveis na literatura (CHANG, 2007; ROSE E PETERS, 2001; SIMMONS E REYNOLDS, 1982; LEOPOLD, 1968).

O déficit hídrico nos canais fluviais, durante o período de estiagem, foi também verificado por Coelho *et al.* (2015). Os autores afirmam que na região sul do Brasil, onde as chuvas são bem distribuídas durante todo o ano, foi constatado que durante o verão de 2013/2014 e no início do ano de 2015 houve a maior seca observada comparada aos últimos anos, o que afetou a disponibilidade de água na região, sendo observados conflitos pelo uso da água. A floresta poderia atenuar estes efeitos, oferecendo melhores condições para a regulação natural do fluxo (PRICE, 2011).

Os reflexos de redução dos fluxos hídricos também podem ser analisados em nascentes, como demonstrado por Menezes *et al.* (2009), que compararam duas nascentes com diferentes usos de solo. Os autores obtiveram resultados diferenciados como o de condutividade hidráulica que foi superior a 2,5 m/dia e abaixo de 1 m/dia, e o de porosidade drenável superior a 40% e inferior a 32%, em bacias florestada e agrícola, respectivamente.

Os fluxos de sedimentos e nutrientes, em bacias florestadas, são também moderados, uma vez que os mesmos fatores que promovem a infiltração, fluxo e armazenamento de umidade no solo, também reduzem a erosão superficial (NEARY *et al.*, 2009). Os ciclos curtos de nutrientes em solos florestais e bacias hidrográficas não perturbadas resultam em ganhos líquidos e, quando há perdas, as mesmas mostram-se reduzidas, em comparação com outros usos da terra (HORNBECK *et al.*, 1987; SWANK & WAIDE, 1988). Além disto, as plantas perenes e a matéria orgânica nos solos da floresta ajudam a reter nutrientes.

Os canais que drenam as água em áreas florestais tendem a ser relativamente estáveis, atingindo, em geral, o equilíbrio geomórfico, baixas concentrações de

nutrientes e contaminantes, além de conter maior biodiversidade aquática em relação aos rios das áreas adjacentes que abrigam outros tipos de uso do solo (KRATZER *et al.*, 2006).

Em encostas montanhosas a velocidade do escoamento superficial das águas é maior, em função da ação da força da gravidade, tendo a vegetação um papel fundamental ao atuar como barreira natural para o fluxo hídrico (TAMBOSI *et al.*, 2015). Naturalmente, essas áreas estão sujeitas aos movimentos de massa no solo, no entanto, a remoção da cobertura vegetal do solo potencializa estes eventos catastróficos. Terrenos com declividades superiores a 25°, em que a cobertura vegetal foi removida por ações antrópicas, têm alto risco de deslizamentos, como já ocorrido na Floresta da Tijuca, em que as encostas possuem declividades que variam entre 18° e 37° (FERNANDES *et al.*, 2001).

Esta análise teórica permite compreender como a derrubada da cobertura vegetal afeta os demais compartimentos geossistêmicos em florestas tropicais e favorece o entendimento dos processos ocorridos na Floresta da Tijuca, após o uso do solo ser destinado ao cultivo do café.

2.2) A Floresta da Tijuca: processos de degradação e esforços para o retorno das suas funcionalidades

A Floresta da Tijuca possui um histórico de devastação com grande perda da sua diversidade, a partir da retirada da cobertura vegetal e uso da terra para fins econômicos, principalmente no que se refere aos fins agrícolas. Tais modificações provocaram alterações na dinâmica hidrológica, conduzindo a grandes desequilíbrios, que afetaram o abastecimento hídrico da cidade do Rio de Janeiro, induzindo a redefinição dos planos de abastecimento de água.

De acordo com Drummond (1988) as florestas primárias da cidade sofreram poucas alterações até quase metade do século XVIII, com retirada de pau-brasil, ervas, dentre outros, e em parte da cidade, a cobertura florestal foi derrubada em razão do próprio crescimento urbano.

O abastecimento de água do Rio de Janeiro estava sujeito à captação de água das encostas montanhosas (trazidas pela força da gravidade), da baía de Guanabara e dos rios Carioca, Cachoeira e Maracanã, que apesar de não apresentarem grandes fluxos de vazão, eram perenes e exibiam excelente qualidade. Aproximadamente até o século

XIX, tal recurso hídrico era acessível à população através de fontes e chafarizes públicos distribuídos pela cidade, que era transportado por aqueduto que atravessavam os Arcos da Lapa entre os morros de Santa Teresa e Santo Antônio, conforme salienta Benchimol (1990).

A literatura pouco aborda sobre os engenhos e plantações de cana-de-açúcar que ocorreram nas imediações da baía de Guanabara, no entanto, a mesma não evidencia que esta cultura foi desenvolvida nas encostas florestais. Por outro lado o café, espécie exótica que foi introduzida pelos europeus em território brasileiro a partir de 1750, adaptou-se às condições climáticas e pedo-geomorfológicas do Rio de Janeiro e transformou-se rapidamente em cultivo de grande escala, tornando-se a principal atividade econômica da sociedade imperial.

De acordo com Dean (1996) os lucros gerados pelo café possuíam diversas finalidades, como a manutenção da aristocracia colonial e garantia da estabilidade política do governo imperial, já que havia diversas rebeliões e pressões anti-império. Além destes fatores, a consolidação do país se deu devido às receitas geradas por esta atividade econômica.

O plantio monocultor, inicialmente inserido dentro das fazendas na cidade do Rio de Janeiro, expandiu em direção as encostas florestadas e em um curto período, a vegetação que estava praticamente intacta foi derrubada. Esta cobertura florestal então teve como destino a produção de carvão e o seu emprego como material de construção. Inúmeros fazendeiros enriqueceram com o plantio do café entre 1790 e 1830 e como resultado, a Floresta da Tijuca ficou exposta a pressões demográficas e econômicas. Amador (1992) retrata que o cultivo do café promoveu rapidamente um grande impacto ambiental:

“No período entre 1760, quando timidamente foi implantado, na atual rua Evaristo da Veiga, e 1840, quando se desloca de São Gonçalo para o Cantagalo, o café deixou na sua passagem um rastro de destruição, atingindo os três maciços cariocas (Tijuca, Pedra Branca e Mendanha), os contrafortes da serra do Mar, na baixada, e as colinas e vertentes do maciço litorâneo de Itaboraí, Marica e São Gonçalo”. (AMADOR, 1992, p.224)

A ausência da cobertura vegetal associada aos processos erosivos e o uso intenso do solo utilizado pela monocultura promoveram o escoamento superficial durante as elevadas precipitações e, por conseguinte, as inundações na cidade. Por outro lado, o

ciclo hidrológico também passou a ser afetado, quando as taxas de infiltração foram reduzidas e deixaram de abastecer os aquíferos subterrâneos, que por sua vez, alimentam os fluxos de base dos rios e produzem a água através da exfiltração em nascentes.

Neste sentido, Dean (1994) aponta que se recorria a novas terras ainda férteis e abandonavam-se aquelas fazendas erodidas, aprofundando o desmatamento da floresta. O pintor e viajante Johann Moritz Rugendas retrata o desmatamento da Mata Atlântica para o plantio do café, ocorrido na primeira metade do século 19 (figura 3.1).



Figura 2.1: Desmatamento da Mata Atlântica. Fonte: Abreu (1992)

Por conseguinte, as áreas abandonadas pelo plantio do café eram posteriormente utilizadas pela pecuária extensiva ou eram, gradativamente, ocupadas por gramíneas, dando início ao processo de sucessão ecológica. Outras atividades ainda são encontradas na literatura conforme descreve Drummond (1997):

“Não era raro que pequenos trechos de florestas remanescentes ou secundárias eventualmente existentes em fazendas decadentes fossem finalmente cortados, principalmente para a produção comercial de lenha. Até fazendeiros abastados eram obrigados a isso, pressionados por dívidas que a sua cafeicultura decadente não conseguia cobrir. Mesmo nos estertores, portanto, uma velha fazenda de café ainda exercia o seu poder destrutivo contra os eventuais remanescentes da mata nativa”. (DRUMMOND, 1997, p.115).

Como resultado deste processo exploratório houve quatro grandes secas nos anos de 1824, 1829, 1833 e 1844, que causaram sérios déficits no abastecimento de água na cidade do Rio de Janeiro, juntamente com os cursos d'água que apresentavam redução significativa do seu fluxo. Pádua (2004) e Figueiró (2005) retratam que o processo de retirada das florestas, a escassez hídrica e a busca por novas fontes de captação de água era uma preocupação constante no governo imperial, visto que as áreas destinadas à agricultura eram feitas sobre as áreas de captação de água que abastecia todo o município do Rio de Janeiro. Ademais, os autores também referem-se aos debates políticos que este tema gerava, abordando um discurso de José Bonifácio de Andrada e Silva em uma representação à Assembléia Constituinte e Legislativa do império advertindo sobre as práticas do uso do solo e desmatamento, a insuficiência hídrica, modificações nas precipitações e um possível cenário no futuro de paisagens desérticas.

Conforme Abreu (1992, p. 65), em 1843, sob forte e prolongada seca, medidas conservacionistas que visavam recompor a vazão das nascentes foram implantadas, objetivando recuperar as áreas florestais. De acordo com o autor “(...) não se podia mais correr atrás de novos mananciais no maciço da Tijuca, se as próprias condições de existência dessas fontes não fossem garantidas”. Posto isto, o governo imperial, em 1844:

“(...) mandou abastecer com novas plantações as matas existentes, que estão desfalcadas, e ampliá-las com outras artificiais, alternando nestas as árvores de pronto crescimento e de pouca duração, com as de grande duração e crescimento tardio, a fim de que, quando perecerem as primeiras, achem-se as segundas em estado de suprir a sua falta”. (Ministério do Império apud Abreu, 1992, p.77).

Partindo deste princípio, em 1853 a história do café começa a se modificar, com propriedades rurais que foram desapropriadas para fins de preservação e recuperação das fontes de água e da floresta.

Somente durante os anos de 1862 e 1887, milhares de mudas foram plantadas junto às encostas e nascentes, com destaque para Manuel Gomes Archer que estava a frente do sistema de reflorestamento (DRUMMOND, 1988). Após incessantes anos de trabalho, a cidade conseguiu obter novamente o abastecimento com água potável e de

excelente qualidade, dando origem ao ecossistema de floresta secundária do Parque Nacional da Tijuca.

Embora essas ações contribuíssem para a retomada da água, a estabilidade original do sistema foi afetada e a floresta sofreu pequena capacidade de regeneração. A partir do rompimento desta estabilidade fixaram-se permanentemente as gramíneas, que por sua vez, possuem uma capacidade reduzida de ciclagem de nutrientes (FIGUEIRÓ, 2005). Logo, as mudanças ocorridas na vegetação, também propiciaram alterações nas condições microclimáticas, nas temperaturas, na umidade, na circulação do ar e mudanças na fauna local. Assim, o processo de desajuste ou a instabilidade do sistema montanhoso iniciou-se a partir do histórico de ocupação.

Este resgate no passado da Floresta da Tijuca permitiu compreender como os processos sociais sucedidos no tempo e no espaço contribuíram para a situação de escassez hídrica, comprometendo inclusive o abastecimento de água para a população. Assim, a valorização da dimensão temporal possibilita maior entendimento das questões relacionadas ao espaço e auxilia na elaboração de medidas de intervenção no território com a finalidade de modificá-lo.

2.3) A floresta resiste frente aos atuais desequilíbrios

A floresta, atualmente, é um “importante centro armazenador e distribuidor de águas pluviais, de onde convergem descargas fluviais (líquidas, sólidas e solúveis) para as baixadas circundantes, antes de desaguiarem em seus respectivos reservatórios terminais” (COELHO NETTO, 2005, p. 48). A serapilheira possui um papel fundamental para a regulamentação térmica e a dinâmica geocológica do solo. Esta camada de matéria orgânica possui a capacidade de “tamponamento térmico” e a pesquisa de Figueiró (2005) aponta uma diferença de temperatura entre o topo e a base da serapilheira, chegando a ultrapassar 3°C.

Apesar dos serviços ambientais prestados à cidade, a expansão do sítio urbano e o processo de ocupação no entorno florestal tem causando alterações na cobertura vegetal. As edificações formais e ocupações informais, estradas, loteamentos, vem alterando as condições climáticas locais, gerando as ilhas de calor, aumento das temperaturas nos centros urbanos e modificações nos fluxos dos ventos potencializando, desta forma, os efeitos dos eventos climáticos extremos e promovendo grandes descargas pluviais (GEOHECO/SMAC, 2000). A poluição atmosférica também é

agravada pelas atividades urbanas, sendo constatada a ocorrência de chuva ácida em algumas mensurações pluviométricas (SILVEIRA, 1997).

As mudanças ambientais, induzidas pelo fator antrópico, vêm causando alterações no ciclo hidrológico, perda de resistência dos solos, aumento dos processos erosivos e, gerando em decorrência disto, os movimentos de massa. Estudos demonstram que na estação chuvosa, estas descargas hídricas extrapolam a capacidade de suporte dos sistemas de drenagem urbana, provocando enchentes nas áreas mais baixas (ZAUÍ, 1994; ROCHA LEÃO, 1997; SILVEIRA, 1997; FERNANDES, 1998).

Outra forma de degradação verificada é o aumento da ocorrência de incêndios devido à prática do manejo de balões pela população, assim, estes locais já estão condicionados a um “ciclo de degradação”, tendo em vista que a ocorrência do fogo deteriora a vegetação e cria as condições para que ocorram outros episódios (FREITAS, 2001). Além disto, os incêndios são os geradores dos desajustes geo-hidroecológico em todo o sistema.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, de Dias (2011), realizado no maciço montanhoso que abriga a floresta, demonstrou que há predomínio da cobertura vegetal em bom estado de conservação (86%), mas também 10% de áreas de ocupação formal e informal. Estes 10% de ocupação causam mudanças significativas na qualidade de água, como verificado em parte das áreas adjacentes, em que é recorrente encontrar resíduos domésticos na água (ARAUJO, 2013).

Em um mapeamento mais recente, a matriz predominante apontou como uso predominante no maciço a floresta de estágio médio/avançado de sucessão, que ocupou 56,76 km² da área total e corresponde a 47,61%. O estágio inicial de sucessão foi encontrado predominantemente nas áreas de encostas e bordas florestais próximos as áreas urbanas de ocupação formal e informal. As mensurações finais apontaram que 90% da área é formada pelos domínios florestais, sejam eles conservados ou alterados, 6% com áreas de ocupação formal e informal (Martinez, 2014).

As comunidades de ocupação informal utilizam as nascentes como forma de abastecimento de água, descartam seus resíduos diretamente nos rios, em fossas e em algumas partes o esgotamento sanitário é oferecido para a população residente. Já no setor de ocupação formal, o abastecimento hídrico é feito predominantemente pelas nascentes, mas há presença de fossas. Diante da ineficiência de redes de esgoto no entorno da floresta, as águas podem estar sendo contaminadas e tendo sua qualidade alterada (Silva, 2014).

A escala de impactos na vegetação extrapola os limites da Floresta da Tijuca, como apontado por diversos estudos. A ocorrência de movimentos de massa, devido às ocupações, tem sido frequentes em encostas montanhosas florestadas na cidade do Rio de Janeiro, sendo que a degradação, das clareiras de deslizamento, se propaga mais rapidamente que o tempo de retorno da vegetação para estas clareiras (NEGREIROS, 2006). Os incêndios são também provocados pela população a partir da queima do lixo, de descartes de cigarros no chão, dentre outras pressões, que recentemente provocou a queda de uma espécie de estágio sucessional primário da Mata Atlântica, datada com mais de mil anos.

O crescimento acelerado do Rio de Janeiro, a partir do século XX, juntamente com a ocupação de encostas assinala uma nova etapa de degradação florestal, contribuindo para que os desastres naturais se tornasse um evento recorrente na cidade (Geoheco/Smac, 2000).

Apesar das interferências antrópicas supracitadas, ocorridas durante alguns séculos, a floresta continua desempenhando suas funções. A cobertura vegetal continua contribuindo para a regulação hidrológica do sistema e suas raízes, bem conservadas, geram resistência para a estabilidade das encostas, inibindo os deslizamentos de terra. Além disto, a manutenção desta vegetação garante o controle da distribuição das chuvas e do armazenamento de água, logo, a perda deste recurso implica na falta destes serviços ambientais.

As medidas de reflorestamento foram essenciais para que o abastecimento de água na cidade retornasse as condições normais e para o reajuste do sistema ambiental durante os séculos XVIII e XIX, no entanto, esta recomposição durou um longo período até atingir o estágio de uma floresta tardia e não se pode afirmar que as funções ecológicas e hidrológicas retomaram ao equilíbrio inicial.

Este resgate na escala temporal da Floresta da Tijuca permitiu compreender como os processos sociais sucedidos no tempo e no espaço contribuíram para o entendimento da situação atual da floresta, como ações antrópicas do passado ainda estão relacionadas com a forma com que esta cobertura vegetal se apresenta, refletindo nos aspectos geoambientais. Assim, através deste estudo foi possível obter maior entendimento das questões relacionadas ao sistema tratado e gerou informações para a elaboração de medidas de intervenção no território.

3) CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA LABORATÓRIO DA PESQUISA

O maciço da Tijuca constitui um relevo montanhoso, apresentando altas declividades com predomínio das encostas de 54% e orientadas para diferentes quadrantes. Bierkeland (1974) apud Geoheco/Smac (2000) demonstra que essa variação da orientação das encostas atua na temperatura dos solos, assim como nos processos pedogenéticos, influenciando nas diferenças estruturais dos mesmos. A orientação também reflete na biodiversidade das espécies presentes no maciço em questão (GEOHECO/SMAC, 2000).

No que tange ao substrato geológico, o mesmo é composto de três unidades básicas: gnaiss facoidal, biotita gnaiss e granito favela. Há ocorrência também de depósitos de colúvio, saprolitos rasos e em topos, circundados por uma área maior de saprolito espesso (GEOHECO/SMAC, 2000).

Coelho Netto (1985) denomina o clima do maciço como tropical de altitude, com valores de precipitação média anual variando entre 2000 mm a 2500 mm, com um período chuvoso concentrado de setembro a março, com episódios de eventos extremos. Com relação às temperaturas médias, a mínima observada foi de 19° no mês de junho e a máxima de 25°C em fevereiro, sendo 22°C a média anual. Conforme Oliveira *et al.* (1995) há ocorrência de chuvas orográficas e ventos com umidade provenientes do mar (sudeste e sul) que geram níveis de precipitação e de umidade diferenciados nas encostas sul e norte do maciço da Tijuca. Nas primeiras, os autores observaram taxas mais elevadas de precipitação, em detrimento da segunda.

Em se tratando do Parque Nacional da Tijuca - PNT (figura 3.1), o mesmo foi instituído pelo decreto lei nº 60.183 em 1967, está localizado em área metropolitana do Rio de Janeiro, possui como área total 1540,5 ha de extensão e, ainda, é subdividido em quatro setores, que serão mencionados em seguida.

Apesar da extensão do PNT os estudos se concentram na Floresta da Tijuca (setor A) e a literatura traz informações, sobretudo, deste setor. De acordo com Geoheco/Smac (2000) a Floresta da Tijuca possui solo pobre, no que tange aos nutrientes, e o seu desenvolvimento depende de mecanismos auto-reguladores e retro-alimentadores, como a produção e decomposição de serapilheira. Os processos de formação dos solos atuam principalmente sobre materiais coluviais, que já sofreram intensa lixiviação. Nas encostas mais íngremes predominam solos litólicos, na porção

mais baixa das encostas os Cambissolos e mais a jusante Latossolo vermelho-amarelo (ROSAS, 1991).

A Floresta da Tijuca abriga áreas de uso intensivo como a presença de restaurantes, cachoeiras, áreas destinadas ao lazer, trilhas, grutas e mirantes, prédios históricos como a Capela Mayrink, Barracão (atual sede do PNT), ruínas do século XIX, dentre outros, atraindo desta forma, um grande número de turistas.

O setor B, denominado de Serra da Carioca, abriga o Cristo Redentor e o Parque Henrique Lage, que é uma importante área de lazer na cidade e uso que se faz do terreno é predominantemente turístico, pois estão presentes nestes locais cachoeiras, mirantes e a Mata do Pai Ricardo. Com relação ao C, chamado de Setor Pedra Bonita/Pedra da Gávea, ocorrem algumas atividades esportivas, como o montanhismo e voo livre.

Por ser uma unidade conservação urbana, a floresta, assim como o maciço florestado, sofrem impactos referentes às ações antrópicas desenvolvidas no entorno. Figueiró (2005) retratou que as áreas de loteamentos, favelas e a expansão de áreas de ocupação antiga nas bordas florestais trouxeram como consequência a substituição nestas áreas pela vegetação gramínea, aumento das temperaturas em relação ao interior da floresta e mudanças na fauna local. O autor, ainda, abordou sobre o aumento da ocorrência de incêndios devido à prática do manejo de balões pela população.

Os estudos de Zaú (1994), Fernandes (1998) e Freitas (2001) demonstram como os incêndios é o gerador de desajustes geo-hidroecológico em todo o sistema, na vertente norte do maciço da Tijuca.

Como se pode perceber, as pressões e suas implicações atingem a floresta e ultrapassam a escala que abrange apenas o interior florestal. Negreiros (2011) pesquisou sobre as clareiras de deslizamentos no Parque Nacional da Tijuca e demonstrou como as ações supracitadas interferem em todo o sistema biota-solo-água da área atingida, assim como nas áreas adjacentes. Amaral e Feijó (2004) afirmam que o município do Rio de Janeiro apresentou uma média de 28 escorregamentos por ano entre 1938 a 2001. Estas encostas descobertas intensificam a susceptibilidade aos movimentos de massa e geram as clareiras de deslizamentos no terreno. As mesmas, por conseguinte, em resposta aos eventos de chuvas de menor intensidade sofrem erosão e fornecem maiores cargas de sedimentos aos rios da baixada, contribuindo para a frequência de enchentes.

3.1) Bacia do rio Cachoeira

A bacia do rio Cachoeira (figura 3.2) está inserida no vertente sul do Maciço da Tijuca (RJ), possui como extensão uma área de 16,48 km² e situa-se entre os paralelos 22° 56' e 23° 00' de latitude sul e os meridianos 43° 15' e 43° 18' de longitude oeste. O rio Cachoeira tem sua formação nas cabeceiras de drenagem da Floresta da Tijuca, é um canal de 5ª ordem (conforme Sthraler, na escala de 1:10.000 e padrão de drenagem dendrítico) e segue um percurso de 9 km de extensão até desaguar nas lagoas costeiras da baixada de Jacarepaguá. Os principais afluentes do Cachoeira são o rio Solidão (margem direita) e rio Gávea Pequena (margem esquerda).

A topografia é marcada por um relevo montanhoso com a presença de picos, com destaque para o Pico da Tijuca (1022 m) e Pico do Papagaio (983 m). O substrato rochoso é constituído principalmente por gnaisse e algumas intrusões de granito e o pedológico predominam as classes de solos Latossolo e Neossolo.

O mapeamento de Dias (2011) do uso do solo e cobertura vegetal realizado acima da cota 40 m apontou que na bacia há predomínio da cobertura vegetal em bom estado de conservação (86%), mas também 10% de áreas de ocupação formal e informal. Araujo (2013) retrata que estes 10% de ocupação causam mudanças significativas na qualidade de água, como na localidade de Mata Machado, bairro situado no entorno da Floresta da Tijuca, em que é recorrente encontrar resíduos domésticos e garrafas pet, sacos de lixo, dentre outros, na água.

Martinez (2014) realizando um mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal mais atual sobre a bacia identificou que a matriz predominante em todo o maciço é a floresta de estágio médio/avançado de sucessão, que ocupou 56,76 km² da área total e correspondendo a 47,61%. O estágio inicial de sucessão foi encontrado predominantemente nas áreas de encostas e bordas florestais próximos as áreas urbanas de ocupação formal e informal. As mensurações finais apontaram que 90% da área é formada pelos domínios florestais, sejam eles conservados ou alterados, 6% com áreas de ocupação formal e informal - valor reduzido em relação ao estudo anteriormente citado, realizado por Dias (2011), já que a mesma apontou para 10% a porcentagem de ocupação -, 3% de afloramento rochoso e 2,4% de áreas arborizadas urbanisticamente.

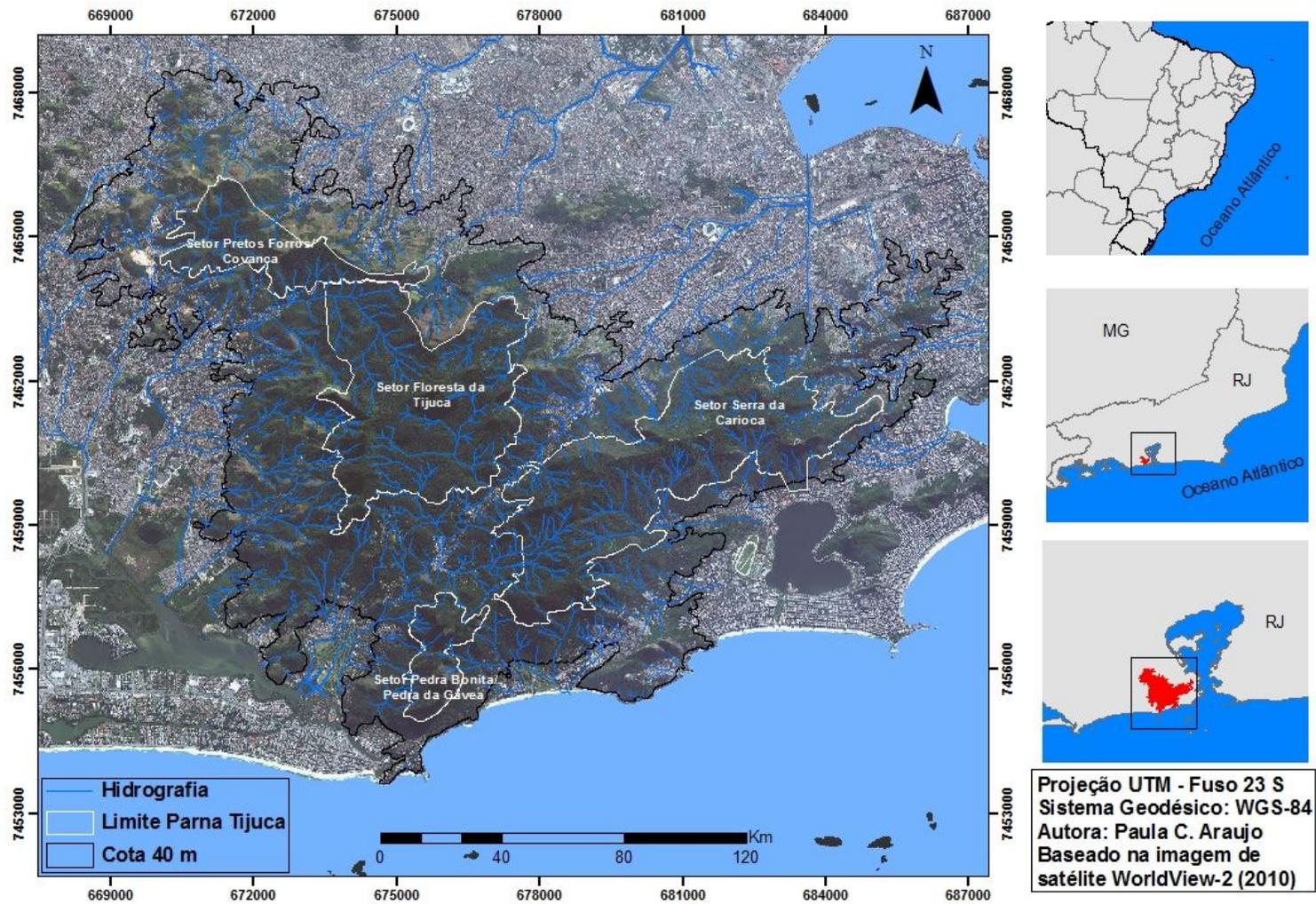


Figura 3.1: Mapa de localização do maciço da Tijuca

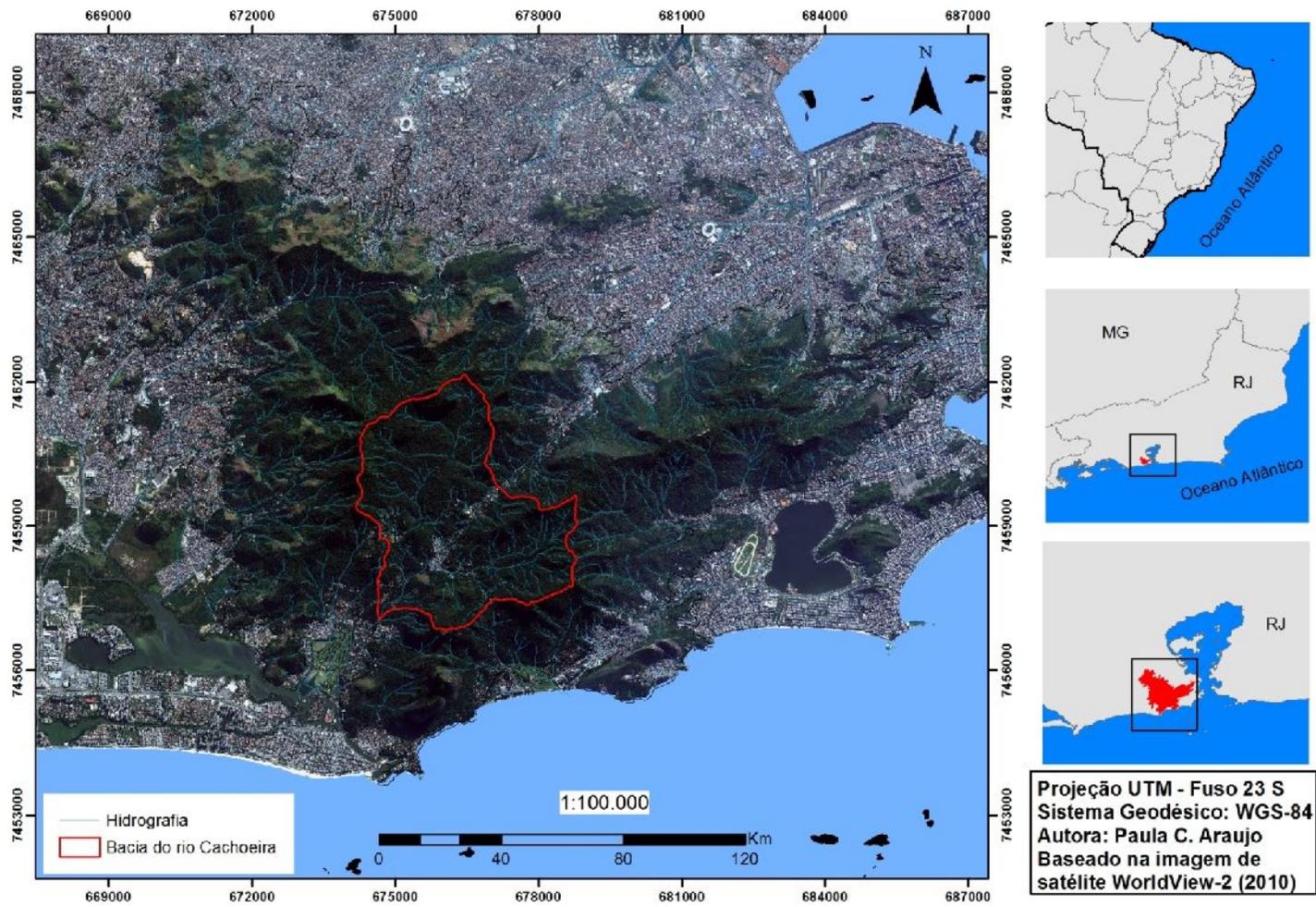


Figura 3.2: Mapa de localização da bacia do rio Cachoeira.

A pesquisa de Silva (2014) realizada na bacia do Cachoeira subdividiu a bacia em alguns setores e obteve as seguintes conclusões: as comunidades de ocupação informal situadas em encostas e/ou afluentes da margem direita do rio utilizam as nascentes como forma de abastecimento de água, há presença do esgotamento sanitário, mas existem casos em que há o uso de fossas; no setor localizado nas encostas e/ou afluentes da margem esquerda do Rio Cachoeira, na região de médio curso do canal, a ocupação é informal com abastecimento de água via nascentes ou captação irregular; um terceiro setor é marcado pela ocupação formal, situado nas áreas mais planas próximas ao rio Cachoeira, na região de médio curso, em que o esgotamento sanitário é oferecido para a população residente, mas que devido a falta d'água há conflitos pelo uso da água; por fim, inserido no Alto da Boa Vista, o último setor a ocupação é formal, mas que o abastecimento hídrico é feito predominantemente pelas nascentes, porém o autor verificou a presença de fossas neste setor. Nesse sentido, diante das características apresentadas pelo autor, entende-se que diante da ineficiência de redes de esgoto em toda a bacia, as águas podem estar sendo contaminadas e tendo sua qualidade alterada, tanto do canal principal quanto dos tributários.

4) QUALIDADE DA ÁGUA: BASES TEÓRICAS, DISCUSSÕES RELACIONADAS À TEMÁTICA E DOMÍNIOS GEOECOLÓGICOS ASSOCIADOS AO ESTUDO

A água é um elemento natural, com características físicas e químicas, com funções sociais e econômicas. Para Felipe (2009) o papel da mesma recai para a manutenção do equilíbrio natural e fisiológico da biota, atuando na modelagem do relevo, sendo indispensável na formação dos processos pedológicos e condicionando as atividades do homem no espaço.

Rebouças (2006, p. 26) afirma que as características da água serão alteradas a partir de seu trajeto atmosférico: “as partículas sólidas e gases atmosféricos de variadas origens são dissolvidos pelas águas que caem na superfície da Terra na forma de chuva, neblina e neve, principalmente”. Desta forma, essas águas meteóricas constituem uma solução diluída de sais dissolvidos e são ligeiramente ácidas.

Conforme Salati *et al* (2006) existe uma interação entre a litosfera, a biosfera e a atmosfera que define um equilíbrio dinâmico para o ciclo da água, determinando assim, as características das águas. Tal equilíbrio dependerá: da quantidade e distribuição das precipitações, já que as mesmas estão associadas às variações, tanto temporais, quanto espaciais; do balanço energético, posto que a quantidade de água que é perdida pela evapotranspiração está atrelada à energia solar disponível, à natureza da vegetação e às características do solo; à geomorfologia, que atua como regulador do tempo de permanência da água na bacia, devido à sua topografia e hidrografia; da natureza e das formações geológicas, que controla o armazenamento da água no solo e no subsolo, bem como, na determinação do fluxo de base dos afluentes e do canal principal; da vegetação, que regula o balanço energético, a infiltração, a evapotranspiração e a vazão final.

Em se tratando de estudos da qualidade da água, a concentração natural de uma determinada substância no solo ou na água é denominada de background (PERK, 2006). Em amostras de água pode-se encontrar determinada concentração química, e isto não significa necessariamente a existência de poluição. Muitas substâncias como os nutrientes e metais terão ocorrência natural no solo e nas águas superficiais e subterrâneas, devido à sua disponibilidade natural na Terra. Ribeiro (2010) acrescenta que estes metais tem origem nos processos de dissolução de rochas, nas atividades vulcânicas ou nos ciclos geológicos.

A literatura retrata sobre as alterações na composição das águas provocadas por fatores naturais e antropogênicos. Salati *et al* (2006) afirma que os naturais estão atrelados as flutuações sazonais e variações climáticas naturais. Já os antrópicos relacionam-se as ações

humanas que podem alterar o balanço hídrico, como o desmatamento, mudança do uso do solo, os projetos de irrigação e construção de barragens, dentre outras.

Meybeck *et al* (1996) consideram ainda como fatores naturais as diferenças sazonais nos volumes de escoamento, condições climáticas e nível da água. E em se tratando de clima tropical, os regimes hídricos sofrem alterações, em detrimento da sazonalidade que ocorre nas estações secas e úmidas. O estudo de Bagde e Rangari (1999) desenvolvido em regiões tropicais apontou que as variações de coliformes nas águas superficiais se elevaram nos períodos de menores vazões, no momento em que havia menor disponibilidade hídrica.

Apesar de estas questões naturais serem apontadas na bibliografia, os impactos antrópicos são amplamente retratados nos estudos, como o de Haddad (2007) desenvolvido na bacia hidrográfica do rio São Miguel (MG), no qual a composição da água foi fortemente alterada pelo lançamento de esgoto devido à ocupação urbana, ocasionando contaminação microbiológica, e por sua vez, gerando casos de esquistossomose. Nesta mesma bacia, na área destinada à atividade de mineração, foi identificada a presença de cádmio na água.

Cabaleiro (2010) realizou a análise da qualidade de água na sub-bacia do córrego Sarandi (MG) e constatou que as águas da bacia estavam contaminadas por Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn e Fe. Neste caso, a autora identificou como principais focos de poluição o polo industrial e um lixão desativado, além de material particulado de pequenas indústrias metalúrgicas.

Groll *et al* (2015) identificaram que no rio Zarafshan (Uzbequistão) a qualidade da água, especialmente no baixo curso, é debilitada pela grande quantidade de sal, fertilizantes e pesticidas, poluentes urbanos e metais pesados de origem antrópica. Nesse sentido, foram encontradas altas concentrações de agroquímico como o nitrato e fosfato e à montante da bacia as concentrações de nitrato estavam acima de 75mg/l.

Pelo exposto, Araujo (2013) considerou que a pesquisa em qualidade de água é fundamental para a interpretação da qualidade ambiental, em razão de se fazer necessário conhecer as fontes de poluição e os aspectos físicos (geologia, geomorfologia, vegetação, solo, clima e hidrografia) e socioeconômicos inter-relacionados (população, uso da terra, dentre outros), incorporando ao estudo a bacia hidrográfica, como unidade espacial, de planejamento e gerenciamento. Desta forma, as alterações nas áreas adjacentes ao corpo hídrico refletirão na qualidade ambiental, através das modificações físicas, químicas e biológicas da água.

Na química da água, as perdas de determinados elementos, e por sua vez, a concentração de outros estão relacionadas aos processos intempéricos e de erosão, com

dissolução e dispersão seletiva dos componentes da rocha através dos processos químicos e físicos (LICHT, 1998).

Branco e Rocha (1997) salientam que os processos erosivos se agravam nos períodos de chuva torrencial e juntamente com estes, ocorrem aumento do material arrastado para as águas receptoras. Por esta razão, muitas das alterações da qualidade de água podem ter um caráter cíclico ou sazonal, tais como a turbidez, cor, concentração de ferro ou de poluentes. As análises de Gameson e Davidson (1963) comprovaram que o valor do DBO das águas em um dia de tempestade foi de 600 mg/L, no dia seguinte as águas superficiais apresentavam 350 mg/L para este mesmo parâmetro.

Alguns estudos abordam sobre esta questão dos processos erosivos, que também foi evidenciado na pesquisa de Oliveira (2007) ao investigar os parâmetros orgânicos, físico-químicos e metais das águas superficiais juntamente com os solos na bacia do Córrego Sujo (RJ). A autora identificou que a produção agrícola por ser desenvolvida ao longo das planícies de inundação dos canais, aliado a inexistência de mata ciliar, acelera a poluição dos rios devido à erosão hídrica.

O estudo de Pires (2005) sobre a qualidade de água do Parque Nacional da Serra dos Órgãos e Parque Estadual dos Três Picos, que teve como foco a análise de metais, ânions, mercúrio e coliformes, apontou que 31% das amostras estavam com concentrações acima do permitido pela legislação em função do lixiviamento do solo ou aporte atmosférico.

Leite (2006), objetivando compreender a magnitude dos processos de intemperismo em diversos compartimentos de relevo, monitorou parâmetros químicos nas águas superficiais e subsuperficiais (poços) e conclui que a composição geoquímica das águas assemelha-se com a composição dos compartimentos geomorfológicos.

As questões geoquímicas são também retratadas no estudo de Baggio (2008), em que é discutido as contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição dos metais pesados nas águas superficiais e em sedimentos na bacia do rio Formoso (MG). O autor constatou que as concentrações de Cd, Cr, Cu, Zn, Ni e Pb presentes na água estavam associadas às interferências antrópicas, assim como a contribuição natural de ordem geológica da bacia.

Desta forma, a partir da interação entre solo e água, estas partículas chegarão ao canal fluvial e refletirão na qualidade de água. No entanto, para se compreender como estes constituintes estão presentes nos corpos hídricos e como se comportam em uma escala espaço-temporal, se faz necessário monitorar periodicamente estes canais.

Conforme Bartram e Helmer (1996) o monitoramento da água constitui o processo de amostragem, medição e registro das características dos canais hídricos, objetivando avaliar a se a composição dos mesmos está de acordo com os índices aceitáveis, determinados pelas legislações ambientais. Assim, o monitoramento periódico e contendo uma longa série histórica permite estabelecer uma tendência ou um padrão dos parâmetros analisados no ambiente aquático.

De acordo com Araujo (2013) os objetivos do programa de monitoramento irão se diferenciar conforme as especificidades de cada bacia hidrográfica e do uso que se faz da terra. A FAO (2012) atenta que especificamente nas bacias agrícolas, os planos devem ter um bom planejamento, visto que agricultura utiliza cerca de 70% das reservas de água doce e emite fontes não pontuais de poluentes para os cursos hídricos, ocasionando expressivos impactos nos mananciais, já que eles tendem a se direcionar para as áreas de recargas de aquíferos.

Bierkens *et al* (2000) salienta que o conceito de escala está associado à propriedade dos fenômenos ou processos que se modificam, quando mensurados sob variações espaço-temporais, o entendimento destes fenômenos e dos processos depende do objetivo do pesquisador. Perk (2006) acrescenta que a qualidade de um rio pode ser monitorada em diversas escalas temporais e exemplifica que, em caso de indagações sobre a resposta da concentração de fósforo, por exemplo, em um evento de chuva forte em uma pequena bacia, se faz necessário o monitoramento em horas ou dias. No entanto, para a compreensão sazonal do fósforo na bacia, o acompanhamento deve ser realizado em meses ou anos.

O programa de monitoramento também é preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/97, também denominada Lei das Águas do Brasil. Segundo esta legislação, a gestão das bacias hidrográficas tem como propósito avaliar as demandas e disponibilidades da água, a fim de obter máximos benefícios econômicos e sociais, logo, o monitoramento sistemático torna-se ferramenta essencial para o alcance deste objetivo.

Desta maneira, o estudo da qualidade da água é extremamente relevante, já que é através do gerenciamento dos recursos hídricos, que informações serão geradas e haverá o entendimento do comportamento hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica (MAGALHÃES JÚNIOR, 2000). Tais conhecimentos também contribuem para a compreensão das alterações no uso da água e identificação dos problemas que emergem com a poluição da água.

4.1) Precipitação

A inserção da precipitação nos estudos de qualidade de água se faz necessária, uma vez que a variação na quantidade de chuva durante o mês, seus regimes sazonais e a intensidade dos episódios individuais podem interferir no estado apresentado pelas águas dos canais fluviais.

De acordo com Coelho Netto (1995) a bacia de drenagem pode ser conceituada como uma “área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto do canal fluvial”. Nesse sentido, dentre os processos que ocorrem em uma bacia de drenagem, destaca-se a precipitação. No ciclo hidrológico, parte da precipitação é interceptada pela cobertura vegetal e outra parte é perdida através da evapotranspiração. A partir da saturação da água por parte das copas das árvores, a água escoar pelos troncos e a serapilheira retém uma quantidade desta água. Em eventos de chuvas mais intensos a intercepção tem fraca atuação.

Ao atingir o solo, uma parcela da água pode infiltrar ou escoar em superfície dependendo da capacidade de infiltração do solo, que por sua vez, está atrelada a quantidade de umidade já absorvida por ele, de suas características e da cobertura da terra presente. Em solos florestados a capacidade de infiltração e absorção é maior em relação ao uso do solo urbano, posto isto, a parcela que infiltra, irá percolar até o lençol subterrâneo e alimentar os rios durante os períodos de estiagem.

Conforme Tucci (2003) a água que infiltra pode percolar para o aquífero ou escoar sub-superficialmente na camada que está abaixo da superfície. A água que percola até o aquífero é armazenada e transportada até os rios, fazendo que os mesmos se mantenham perenes durante o período seco. Quando a intensidade da precipitação ultrapassa a quantidade de infiltração, a água então, escoar sobre a superfície em direção dos canais fluviais, processo este chamado de fluxo superficial hortoniano.

A vazão que pode ser observada nos rios durante os períodos chuvosos é denominada de fluxo de chuva, ou seja, são aqueles fluxos que podem ser observados nos canais após episódios de precipitação. No que se referem aos fluxos perenes, que mantém a descarga fluvial nos rios durante as estações mais secas, eles são também conhecidos como fluxos de base. Estes são alimentados pela descarga da água subterrânea que reside nos solos e nas rochas.

4.2) Solo

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013) o conceito de solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais e dinâmicos, têm em sua composição materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial, além de conter matéria viva, estes ainda, podem eventualmente serem modificados por interferências antrópicas.

Os solos constituem seções paralelas, que estão organizados em camadas e/ou horizontes e se diferenciam do material de origem inicial, em razão dos fatores de sua formação, como as adições, perdas, translocações e transformações de matéria e energia, no decorrer do tempo, e ainda, sob influência do clima, dos organismos e do relevo. Logo, os horizontes serão reflexos do processo de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de natureza diversa (KAMPF & CURI, 2012).

Kampf & Curi (2012) afirmam que os solos são sistemas abertos que trocam energia e matéria como, por exemplo, dos minerais do solo para as plantas e destas para o solo, assim como, os fluxos de água que passam continuamente através do solo, adicionando, transferindo e removendo elementos químicos, minerais e compostos orgânicos. Nesse sentido, os solos formam-se e evoluem continuamente, em velocidades e vias diversas.

Com relação à saturação do solo, destaca-se que a quantidade de água disponível no solo irá influenciar na cor e nas propriedades químicas pedológicas. Em solos com permanente saturação de água ou mal drenados há presença de óxidos de ferro e/ou acúmulo de matéria orgânica, em função do excesso de água nos poros e conseqüente escassez de ar. Desta forma, a cor do horizonte mais superficial será escura e no mais profundo será cinzento, apresentando pequenas manchas de cor de ferrugem, em contraste com solos amarelados ou avermelhados nas partes mais elevadas que apresentam características de solos bem drenados (LEPSH, 2011).

Silva (2011) considera que maiores declividades tendem a gerar solos pouco desenvolvidos como neossolos litólicos e cambissolos devido ao intenso processo erosivo. A Floresta da Tijuca, situada em áreas mais elevadas, também apresenta porções de solos em estágio de pouco desenvolvimento e mais pedregosos.

O que se constata também na floresta é a presença da serapilheira. Lepsh (2010) afirma que este resto orgânico ao se decompor, transforma-se primeiro no húmus que através do processo de mineralização, libera sais, que são nutrientes vegetais. Em condições de temperatura elevada e boa aeração, a matéria orgânica original se mineraliza rapidamente,

transforma-se em gás carbônico e libera nutrientes para as plantas, além disto, auxilia na formação dos agregados do solo, melhorando suas características físicas, como a permeabilidade, a porosidade e a retenção de água.

A matéria orgânica disponível no meio também altera as características da água, acidificando-a, uma vez que o húmus é constituído por três frações, que são os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina (RESENDE *et al*, 2007).

Na bacia do rio Cachoeira há predomínio de dois tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Neossolo Litólico e Regolítico.

Os Latossolos constituem solos muito intemperizados, que se desenvolvem em ambientes tropicais quentes e úmidos. De acordo com SiBCS (2013), eles são definidos pelo horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer horizonte diagnóstico superficial. Os perfis de Latossolos considerados mais típicos apresentam horizonte A pouco espesso com transição difusa para um B latossólico muito espesso, com alta porosidade e colorações que variam de avermelhadas e amareladas e textura que variam de média a muito argilosa. É, ainda, composto de agregados granulares que estão arranjados de modo que deixam entre si um grande espaço poroso proporcionando alta permeabilidade, mesmo quando são muito argilosos.

Os Neossolos possuem como principais características pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais, são definidos pelo material mineral ou orgânico que os constitui, não dispõem de horizonte B diagnóstico, se formam em materiais praticamente inertes, sem argila e são extremamente resistentes ao intemperismo ou estão pouco e recentemente expostos aos processos pedológicos. Dois são os perfis mais típicos um horizonte A assentado diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C (SiBCS, 2013).

4.3) Uso do solo

O conceito de hidrogeografia, apesar de pouco retratado na literatura, é concebido por Machado e Torres (2012) como uma abordagem que vai além dos temas tratados pela hidrografia, considerada esta última, pelos autores, com um enfoque mais descritivo. Na concepção dos autores supracitados, a hidrogeografia pode ser considerada uma ciência que estuda a água e os fenômenos associados a ela, como a investigação do comportamento deste recurso disponível na natureza e suas relações com a organização espacial e econômica da sociedade, atuando também como agente modificador das paisagens e retratando sobre os aspectos relacionados ao abastecimento público e uso do solo, além de, apresentar relação

entre as interfaces solo, vegetação e clima. Nesse sentido, tem como propósito abranger temáticas abrangentes e múltiplas, ligadas ao planejamento ambiental e ordenamento do território, a gestão de bacias hidrográficas e gerenciamento de recursos hídricos.

Albino (2010) apud Ramos (2005) considera que os estudos atrelados a hidrogeografia devem abranger diferentes escalas, tendo em vista que os fenômenos hidrológicos manifestam-se em diferentes naturezas e são influenciados por diversos fatores, ademais, atuam em distintas escalas temporais.

Pelo exposto, um fator destacado por esta ciência é a questão de como o uso da terra interfere na qualidade das águas dos canais fluviais. Além das modificações provocadas na água, as mudanças do uso na terra produzem efeitos também no clima, na bioquímica, na biodiversidade, na hidrologia e nos serviços prestados pelo ecossistema (Teferi *et al*, 2013; Teixeira *et al*, 2014).

Com relação às bacias florestadas, Falkenmark *et al.* (1999) afirma que a água que precipita nas encostas montanhosas é transferida para as áreas à jusante, contribuindo para a disponibilidade hídrica nesta porção da bacia. Em geral, em áreas urbanas, nestes espaços à jusante há maior demanda pelo abastecimento hídrico e as fontes poluentes são também mais pronunciadas. Posto isto, trata-se de uma área que necessita de uma maior quantidade e qualidade de água e que consegue manter suas funções em razão da manutenção da floresta.

Conforme Meybeck (1996) e Perk (2006) as atividades humanas podem gerar partículas e materiais dissolvidos/voláteis que podem chegar à água e no solo de forma direta ou indireta. A direta diz respeito ao poluente que é descartado em um único local e de forma pontual, como a descarga de esgoto, sendo este facilmente controlado, visto que, é possível identificar sua causa específica. Já a indireta, ocorre em uma vasta área e possui fonte não-pontual, ou seja, a concentração destes poluentes originam-se de fontes difusas, como a descarga de esgoto doméstico em águas superficiais urbanas.

Em se tratando destes poluentes dispersos no meio e sua relação com os canais hídricos, verifica-se que em bacias florestadas, a cobertura vegetal tem um papel substancial de operar como barreira física ao transporte de sedimentos, além de reduzir a velocidade das águas pluviais no terreno e amortecer o impacto das mesmas diretamente no solo. Ademais, no processo de absorção da água a vegetação reduz a quantidade da drenagem que chega ao manancial. Branco e Rocha (1997) abordam que a partir da decomposição das folhas e produtos vegetais, a matéria orgânica coloidal é formada, e esta contribui para o aumento da textura glanular no solo, aumentando por sua vez, sua porosidade e capacidade de absorção da água.

Contrariamente, as bacias agrícolas provocam desmatamento ao abrigar os cultivos e também erosão devido ao solo estar desprotegido, ao manejo tradicional e aos impactos gerados pela irrigação. Desta forma, as partículas se direcionarão para os canais, através do escoamento superficial, provocando assoreamento e alterações na qualidade da água.

Esta situação é ainda mais agravada quando ocorre intenso uso de fertilizantes e corretivos agrícolas. A argila por apresentar a propriedade de coloide, ou seja, é quimicamente ativa e possui afinidade pela água e pelos elementos químicos que estão nela dissolvidos. Perk (2006) acrescenta que esta fina fração de sedimentos (argilominerais) é capaz de se ligar a vários outros químicos, além de ser considerada como um importante vetor de transporte de nutrientes e contaminantes, incluindo metais pesados e poluentes orgânicos. Logo, a argila ao associar-se a estes compostos no solo e atingindo os corpos hídricos poderá também contaminá-los.

Dunn *et al* (2012) abordam que mudanças no ciclo hidrológico, decorrentes de alterações no uso do solo, podem provocar alterações nos níveis de poluentes difusos. Nesse sentido, Donner *et al* (2002) apontaram que o transporte de nitrato do rio Mississippi para o Golfo do México aumentou consideravelmente devido a aplicação de fertilizantes agrícolas e modificações hidrológicas no sistema. Assim, foram utilizados dois modelos que simularam a exportação de nitrato e os resultados apontaram que o aumento da poluição por nitrato estava associado ao aumento do escoamento superficial na bacia. As pesquisas de Kaushal *et al* (2008) também corroboram para esta tendência, visto que a poluição por nitrato encontrou-se mais elevada em anos mais chuvosos, especialmente em bacias urbanas ou agrícolas.

Em meio urbano, os problemas ambientais que influenciam na água referem-se: à impermeabilização dos solos, acelerando o escoamento superficial para os canais e deteriorando a qualidade das águas (ARAÚJO *et al.*, 2007); as modificações na dinâmica fluvial, imprimindo maior volume de vazão nos canais e carga excessiva de sedimentos para os mesmos (HOLLIS, 1988; CUNHA, 2003); a ocupação desordenada nas proximidades dos leitos dos sistemas hídricos superficiais, dos quais desastres são deflagrados como as inundações; (c) ao desvio e canalização das águas pluviais que alteram a hidrologia natural (MROWKA, 1974).

Scarborough *et al* (2012) apontam que na cidade de Tikal (Guatemala) os canais fluviais sofreram significativas alterações humanas, já que as drenagens foram represadas ou o fluxo d'água foi redirecionado. Além disto, constatou-se que com o crescimento da população e do ambiente urbano, as superfícies pavimentadas - que tiveram como objetivo

direcionar o escoamento superficial - limitou o potencial de recarga das nascentes e a alteraram significativamente a quantidade de água subterrânea.

Uma importante ferramenta para analisar como as atividades humanas e seus efeitos influenciarão na qualidade ambiental é a elaboração de modelos, uma vez que possibilita o entendimento de como o uso da terra se apresentará no futuro. Nesse contexto, Rounsevell *et al* (2006) apontaram que os cenários futuros na Europa mostram um o aumento de áreas destinadas a agricultura e a urbanização, o que pode agravar as pressões sob a água, assim como, o meio ambiente como um todo.

Outra metodologia também empregada nas investigações de uso do solo é a comparação de mapas, realizados a partir de imagens de satélites ou fotografias aéreas, objetivando compreender quais modificações ocorreram espacialmente, ao longo do tempo. Teferi *et al* (2013) compararam as imagens de 1972, 1986, 1994 e 2009 e os autores constaram que 46% da área sofreu transição no decorrer dos 52 anos e dentre os resultados mais expressivos foram a transição da pastagem para terras cultivadas (14,8%), seguido pela degradação da vegetação lenhosa natural e pântanos para área de pastagem (3,9%).

Mallinis *et al* (2014) pesquisaram o uso da terra em duas áreas montanhosas localizadas no sítio urbano de Atenas (Grécia), utilizando mapas históricos e recentes. Estas áreas ficam expostas a constantes pressões urbanas, expressas através do crescimento formal e informal urbano, da disposição irregular de resíduos, da recorrência do fogo, dentre outros. Desta forma, para o entendimento das variações espaço-temporais decorrentes da ocupação foram utilizadas fotografias aéreas. Os resultados dos autores apontaram que em um dos locais predominou a classe de florestas, já na outra área montanhosa dominou a área de transição entre florestas e gramíneas.

Nesse sentido, para investigações relacionadas à qualidade da água, Steel (1996) indica que os dados de água devem ser sobrepostos aos mapas de uso da terra, para que áreas de proteção das águas possam ser geradas, além de ser possível também identificar quais usos estão gerando a poluição dos canais hídricos.

5) METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo buscou relacionar a qualidade da água com os compartimentos hidroambientais envolvidos, com ênfase na rocha, no solo, na cobertura vegetal e nos usos do solo. Além disso, a pesquisa também correlacionou as alterações sazonais decorrentes da precipitação com as mensurações de água, bem como, foi feito o tratamento dos dados estatisticamente. Os resultados quantitativos de qualidade de água foram comparados com a legislação em vigor, em especial a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Com o intuito de orientar a pesquisa foi elaborado um organograma contendo os procedimentos metodológicos que foram realizados (figura 5.1), os quais incluem levantamento bibliográfico e cartográfico, coleta dos dados secundários e quantitativos de qualidade da água e precipitação, trabalhos de campo, tratamento estatístico destes dados e interpretação dos resultados. Estes procedimentos visam compreender as respostas de qualidade de água na bacia do rio Cachoeira.

5.1) Levantamento das bases teórico-metodológicas

A etapa inicial do estudo consistiu na pesquisa bibliográfica que englobou: a) base conceitual sobre qualidade da água e sua relação com a precipitação, uso da terra e cobertura vegetal, geologia e pedologia, assim como, a atuação das atividades humanas; b) métodos estatísticos aplicáveis a uma base de dados; c) parâmetros nacionais e internacionais estabelecidos para a avaliação da qualidade da água; d) estudos já desenvolvidos na Floresta da Tijuca, assim como no Parque Nacional da Tijuca (PNT).

Para o entendimento de como as atividades de ocupação humana interferiram na dinâmica hidrológica da bacia estudada, foi feito o resgate histórico no espaço-tempo da degradação ocorrida no passado no maciço da Tijuca.

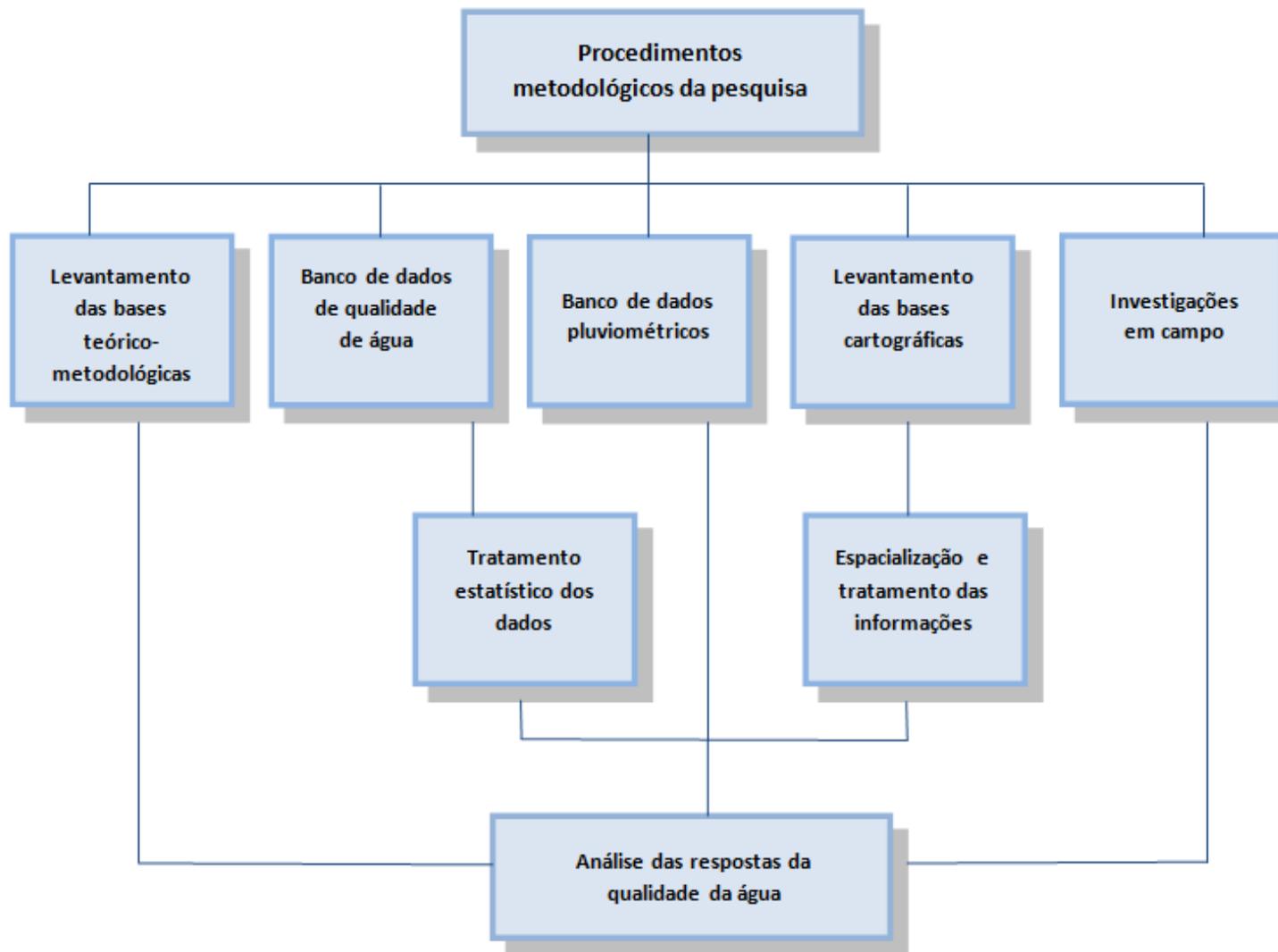


Figura 5.1: Organograma contendo a base metodológica da pesquisa sobre qualidade de água desenvolvida na Floresta da Tijuca.

5.2) Banco de dados hidrológicos e desenvolvimento

Com relação à qualidade da água, os dados empregados para o desenvolvimento da pesquisa foram cedidos pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) e pela Organização Não-Governamental (ONG) Terra Azul. O primeiro órgão estabelece um programa de monitoramento de água dos canais fluviais em estações amostrais distribuídas ao longo dos rios da Floresta da Tijuca e o segundo realizou o monitoramento mensal dos anos de 2005 a 2006 na floresta.

No que tange aos dados fornecidos pela CEDAE, o programa de monitoramento foi iniciado em 2005, sendo realizado semestralmente e abrangendo todos os parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. As análises das amostras são executadas pela própria instituição.

Nesse sentido, para esta pesquisa foram utilizadas as séries temporais de qualidade da água obtidas a partir de prévia autorização dos órgãos referidos e abrangendo os seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), fosfato (PO_4), nitrato (NO_3) e nitrito (NO_2). No que se refere aos dados da ONG Terra Azul foram empregados dados mensais, dos elementos citados, de 12 estações de coleta de água referentes aos anos de 2005 e 2006. Já a CEDAE, oferece resultados semestrais de duas estações “Rio Boa Vista” e “Rio Tijuca” (importantes por possuírem uma série temporal mais longa, propiciando o entendimento dos parâmetros naturais da água e possíveis interferências nos corpos hídricos) utilizados neste estudo dos anos de 2005 a 2014.

A tabela 5.1 especifica os pontos amostrais, as suas respectivas coordenadas geográficas, o período de coleta dos dados e a fonte dos dados, sendo que a figura 5.2 apresenta o mapa com as estações amostrais espacializadas na bacia do rio Cachoeira.

Desta forma, foram realizados alguns trabalhos de campo na Floresta da Tijuca e na biblioteca e administração do PARNA-Tijuca, no intuito de obter maiores informações sobre a pesquisa e pontos amostrais de coleta de água, aferir as coordenadas UTM dos pontos e entender como os arranjos espaciais podem afetar nos resultados de água.

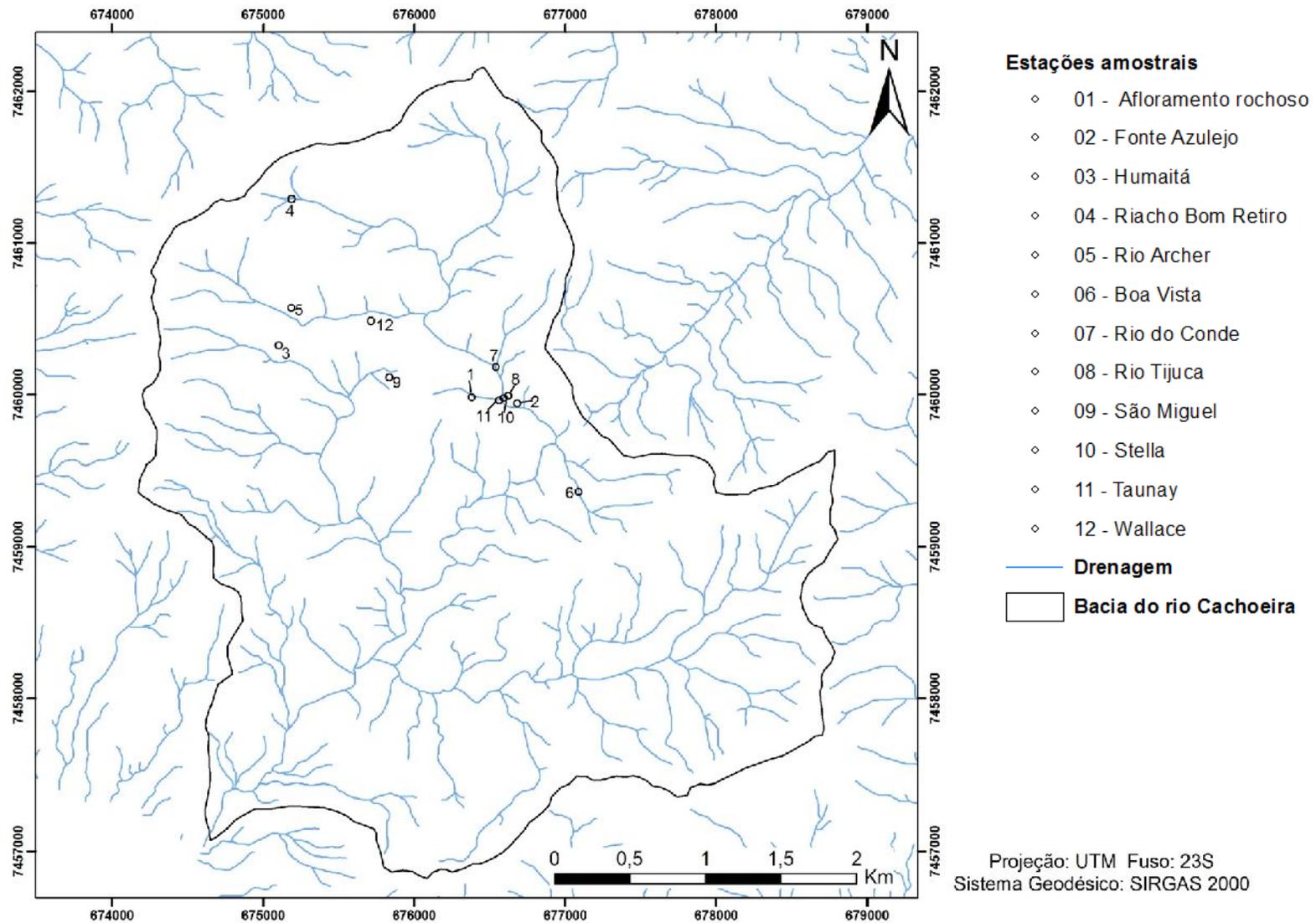


Figura 5.2: Mapa das estações de coleta de água localizadas na bacia do rio Cachoeira utilizadas na pesquisa

Tabela 5.1: Informações sobre as estações amostrais de coleta de água utilizadas neste estudo

Estação amostral	Período amostral	Coordenadas UTM	Fonte dos dados
Afloramento rochoso	2005 – 2006	676389 // 7459988	Terra Azul
Fonte Azulejo (Rio Tijuca)	2005 – 2006	676715 // 7459926	Terra Azul
Riacho Bom Retiro	2005 – 2006	675188 // 7461293	Terra Azul
Rio Archer	2005 – 2006	675185 // 7460574	Terra Azul
Rio Boa Vista	2005 – 2014	677171 // 7459469	Cedae
Rio Conde	2005 – 2006	676561 // 7460259	Terra Azul
Rio Humaitá	2005 – 2006	675147 // 7460380	Terra Azul
Rio Solidão	2005 – 2006	675877 // 7460111	Terra Azul
Rio Tijuca	2005 – 2014	676613 // 7460016	Cedae
Fonte Stella (Rio Tijuca)	2005 – 2006	676590 // 7460007	Terra Azul
Fonte Taunay (Rio Tijuca)	2005 – 2006	676549 // 7459972	Terra Azul
Wallace (Rio Archer)	2005 – 2006	675828 // 7460399	Terra Azul

Posto isto, segue uma breve descrição sobre os pontos de coleta de água:

- Estação Afloramento Rochoso (figura 5.3): este ponto está localizado em um afloramento de rocha ao longo da estrada que corta a floresta. A água aflora da rocha e o acesso a essa é feito por meio de tubulações. De acordo com Gomes (2005), a água deste ponto apresentava-se em condições de potabilidade, não apontando microrganismos do grupo coliforme, sendo bastante consumida pelos visitantes do parque. Todavia, a captação de água atualmente apresenta-se deteriorada e com ferrugem.
- Estação Fonte Azulejo: fonte de cerâmica (figura 5.4) está situada próximo à entrada do PARNA-Tijuca e próximo à margem do Rio Tijuca. A amostra de água foi coletada pelo Instituto Terra Azul diretamente na fonte. O local é cercado por uma área com grande quantidade de vegetação e matéria orgânica liberada entra em contato direto com a água. A água disponível nesta estação também recebe diversos tipos de partículas, devido à proximidade com a estrada.



Figura 5.3: Estação Afloramento rochoso



Figura 5.4: Estação Fonte Azulejo

- Estação Riacho Bom Retiro: a fonte Bom Retiro (figura 5.5) está posicionada em uma área destinada ao lazer e na entrada para as trilhas recebendo, portanto, grande

quantidade de turistas. As águas que abastecem a fonte são captadas do riacho Bom Retiro e canalizadas por tubos de PVC.



Figura 5.5: Ponto de coleta Riacho Bom Retiro

- Estação Rio Archer: a coleta das águas deste rio foi feita em uma fonte também (figura 5.6), que está localizada no entorno da Gruta Paulo e Virgínia. Segundo Brasil (2008), esta gruta tem a composição geológica formada por “blocos de biotita-granito isótropo, leucocrático, de granulação milimétrica e subcentimétrica, com raros fenocristais de plagioclásio com até 2cm”. Estes locais são frequentemente visitados devido à acessibilidade e infraestrutura, bem como, por se situarem ao lado da ponte da Baronesa e na margem da estrada pavimentada.
- Estação Rio Boa Vista: não foi realizado o trabalho de campo nesta estação, devido à falta de acessibilidade, porém de acordo com a CEDAE (2015) a qualidade de água neste ponto de monitoramento é de excelente qualidade, embora tenha como principais problemas a presença de sólidos em suspensão (óxido de ferro) em função da corrosão de tubulações e contaminação por esgoto (devido às ligações clandestinas que provocam vazamento do esgoto no manancial). De acordo com Silva (2014) 52% da população residente nesta área depende das nascentes da Floresta da Tijuca, principalmente dos tributários do rio Cachoeira, para o abastecimento de água.



Figura 5.6: Fonte de coleta das águas do Rio Archer

- Estação Rio Conde: o ponto de coleta neste rio (figura 5.7) encontra-se próximo a Capela Mayrink, que de acordo com o plano de manejo da unidade de conservação corresponde ao marco das primeiras ocupações humanas na Floresta da Tijuca. Atualmente, abriga três residências – ocupadas por funcionários do parque, área de lazer com mesas, bancos e churrasqueiras, parque infantil, a fonte Mayrink e cascatas.



Figura 5.7: Fonte localizada na Capela Mayrink

- Estação Rio Humaitá: A fonte de Humaitá (figura 5.8) foi construída pelo Visconde de Taunay e situa-se no Recanto Paulo e Virgínia, ao longo da estrada. A água é canalizada desde o Rio Humaitá até atingir a fonte, e desta forma, a água era coletada diretamente neste ponto.



Figura 5.8: Fonte Humaitá

- Estação Rio Solidão: o local de amostragem é também conhecido como Vale São Miguel, localizado próximo ao Açude da Solidão. As águas coletadas para a análise da água são provindas do Rio Solidão (figura 5.9).



Figura 5.9: Fonte localizada no Vale São Miguel (Rio Solidão)

- Estação Rio Tijuca: este rio forma a Cascatinha Taunay (apresentada na figura 5.10 e constitui um dos principais pontos turísticos da Floresta da Tijuca em razão de sua grande beleza cênica) e é um dos principais tributários da bacia do rio Cachoeira. Este local abriga restaurante, estacionamento, área cercada por vegetação e situa-se na margem da estrada do Imperador, e devido a esta acessibilidade atrai muitos turistas. O monitoramento da água é realizado pela CEDAE, já que neste ponto a água é captada para atender aos moradores do bairro Usina e Alto Tijuca.



Figura 5.10: Cascatinha Taunay (Rio Tijuca)

- Estação Fonte Stella: esta fonte (figura 5.11) também está localizada no Mirante Cascatinha e as águas do Rio Tijuca são canalizadas diretamente para ela. As descrições deste local são as mesmas apresentadas na estação “Rio Tijuca”.
- Estação Fonte Taunay: esta fonte (figura 5.12) situa-se no estacionamento do Mirante Cascatinha, ao lado oposto da estrada da Cascatinha Taunay e as águas são também canalizadas do rio Tijuca para este ponto.
- Estação Wallace: a fonte Wallace (figura 5.13) está localizada no Jardim dos Manacás. As águas deste ponto de monitoramento são canalizadas do Rio Archer. Esta área de estudo possui vegetação abundante e também está localizada próxima ao corte da estrada.



Figura 5.11: Fonte Stella



Figura 5.13: Fonte Wallace



Figura 5.12: Fonte Taunay situada no Mirante Cascatinha

Após a organização do banco de dados e espacialização nos mapas do referidos pontos amostrais, os resultados referentes a cada parâmetro, ao longo das séries temporais, foram demonstrados através de gráficos, que refletiram a distribuição espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos. Estes também foram analisados através de gráficos de desvio padrão e tratados estatisticamente (metodologia discutida no tópico 5.8).

5.3) Levantamento dos dados pluviométricos

Foram empregadas as mensurações quantitativas diárias de precipitação a partir do ano de 2005 até 2014, da estação pluviométrica Capela Mayrink (INEA-RJ), que está localizada dentro da Floresta da Tijuca. Estes dados foram solicitados previamente ao órgão responsável.

O objetivo de empregar estas informações foi compreender como o regime de precipitações e dos períodos mais escassos de chuva provocam alterações na qualidade de água do parque. Nesse sentido, foram elaborados gráficos com os dados de precipitação juntamente com os de qualidade de água com a finalidade de compreender a relação entre essas duas variáveis.

5.4) Bases cartográficas

Inicialmente foi realizada a revisão de todos os dados cartográficos disponíveis, a fim de verificar se todos estavam na mesma escala e mesmas projeções cartográficas. As bases digitais foram provindas do projeto desenvolvido por GEOHECO/SMAC (2000) e de Martinez (2014).

Nesse sentido, foram feitos os ajustes das bases, reprojetoando todas as feições (*shapefile*) para um mesmo sistema de projeção. Optou-se por reprojetoar todas as feições para o sistema geodésico SIRGAS-2000, já que é o sistema de georreferenciamento recomendado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os mapeamentos digitais no Brasil. Desta forma, os *shapes* que ainda se apresentavam no *datum* SAD-69 foram alterados para o SIRGAS-2000, de acordo com os valores estabelecidos pelo IBGE:

$$X = - 67,35 \text{ m}$$

$$Y = + 3,88 \text{ m}$$

$$Z = - 38,22 \text{ m}$$

Este procedimento mostrou-se como uma etapa importante para o trabalho, já que evitou gerar distorções no posicionamento, bem como erros nas análises realizadas.

5.5) Elaboração dos cartogramas

No presente estudo foram elaborados cartogramas a partir de trabalhos anteriores, são eles: geológico, pedológico, mapa de uso e cobertura do solo, de localização da área de estudo e de espacialização das estações amostrais de coleta de água.

A base geológica foi cedida pelo Laboratório de Geo-Hidroecologia (UFRJ). Originalmente esta base foi publicada por Heilbrom et al. (1993) contendo as seguintes classes litológicas: Gnaiss Arche, Leptinito, Kinzigito (granada biotita gnaisses), Biotita-gnaiss com quartzito, Gnaiss Facoidal, Gabro e Tonalito Grajaú. No entanto, a mesma foi digitalizada por Fernandes (1998) em uma escala de 1:50.000 e algumas classes foram agrupadas pelo projeto GEOHECO/SMAC (2000), devido à representatividade espacial de cada unidade e também em função da similaridade mineralógica e textura das rochas, passando então a apresentar cinco unidades: Biotita-Gnaiss; Gabro; Gnaiss Facoidal; Granito Favela e Leptinito. A escala definida para a análise foi de 1:100.000.

Os dados pedológicos foram disponibilizados pelo projeto GEOHECO/SMAC (2000). Este projeto utilizou dos dados digitais pedológicos concedidos pela EMBRAPA, em uma escala de 1:250.000 relativo ao ano de 2000, sendo que o presente estudo adotou como escala 1:100.000. O mapa original sofreu alterações em sua projeção (para o sistema SIRGAS 2000) e resultou na categorização das seguintes classes pedológicas: Argissolo Vermelho Amarelo, Argissolo e Latossolo Amarelo Coeso, Cambissolo, Gleissolo e Organossolo, Neossolo Litólico e Regolítico, Latossolo Vermelho Amarelo Distrofício e Planossolo e Neossolo Fluvico.

Com relação ao mapa de uso e cobertura do solo, a metodologia para a confecção do mesmo será comentada do tópico 5.6. Já o mapa de localização da área de estudo foi feito a partir da base digital disponibilizada por GEOHECO/SMAC (2000).

Para a elaboração do cartograma das estações amostrais de coleta de água foi obtido junto à CEDAE as coordenadas geográficas das estações “Rio Boa Vista” e “Rio Tijuca”, no entanto, o Instituto Terra Azul não possuía as coordenadas relativas aos seus pontos amostrais. Desta forma, se fez necessário realizar um trabalho de campo (que foi também importante para conhecer melhor a área de estudo e compreender o arranjo espacial das estações), a fim de encontrar os pontos de coleta de água, tendo como referência as imagens produzidas pelo Terra Azul. Todos os pontos foram localizados e suas coordenadas tomadas no GPS 60 CSX.

Tais produtos serão fundamentais para o presente estudo, já que irão contribuir para o entendimento de como os aspectos ambientais promovem a alteração da água.

5.6) Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal

O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal ao ser realizado utilizando técnicas de geoprocessamento torna-se um importante instrumento de planejamento da ocupação do território e através dos mesmos é possível obter informações a respeito de uma determinada área. O uso deste recurso também possibilita o desenvolvimento de mapas temáticos que mostram as diferenças nas estruturas espaciais, e ainda, permitem subsidiar estudos diversos, como os hidrológicos, em que a quantidade e a quantidade de água disponível estão diretamente associados ao uso que se faz da terra.

Com a finalidade de compreender a influência dos fatores naturais e antropogênicos nas águas superficiais da floresta, se fez necessário incluir no estudo os mapas de uso do solo e cobertura vegetal. Nesse sentido, para a confecção destes cartogramas foram utilizadas as bases topográficas de Dias (2011) e Martinez (2014), assim como arquivos e bases digitais do projeto desenvolvido por GEOHECO/SMAC (2000) e de Martinez (2014).

O mapeamento de Dias (2011) baseou-se nas ortofotos aéreas 1:10.000 tiradas no ano de 2004 e para classificação das áreas de “Ocupação informal” foram utilizadas as cartas 1:10.000 (do Instituto Pereira Passos, RJ) elaboradas a partir de sobrevôo de 1999. Já Martinez (2014) empregou a imagem ortorretificada e georreferenciada do sensor WorldView-2, do ano de 2010 e com resolução espacial de 50 cm, relativa ao município do Rio de Janeiro.

Os mapas gerados pelas autoras supracitadas possuíam algumas classes nomeadas diferentemente ou que não possuíam a mesma padronização. Nesse sentido, visando utilizar uma classificação padrão para ambos os mapas foram realizadas algumas alterações, agrupamentos e exclusões em algumas classes, no software Arcgis 10, sendo demonstradas na tabela 5.2.

Desta forma, os mapas de uso de solo e cobertura vegetal foram comparados com os resultados de água, no intuito de compreender como as feições espaciais influenciam na água. Assim, o mapa contendo a imagem referente ao ano de 2004 foi analisado junto com os dados de água cedidos pelo Instituto Terra Azul, que correspondem aos anos de 2004 e 2005. O mesmo, ainda, foi usado juntamente com parte dos dados cedidos pela CEDAE, já que esta série histórica inicia-se a partir do ano de 2005.

No que se refere ao mapeamento relativo ao ano de 2010, este foi interpretado juntamente com os dados da série da CEDAE que abrangiam os anos de 2010 a 2014.

Tabela 5.2: Classificações utilizadas por estudos anteriores e na atual pesquisa para os mapas de uso do solo e cobertura vegetal

Dias (2011)	Martinez (2014)	Classificação final
Floresta (Secundária tardia/clímax)	Floresta em estágio médio e avançado	Floresta secundária tardia
Floresta alterada (Secundária inicial)	Floresta em estágio inicial	Floresta secundária inicial
Gramínea	Gramínea (gramínea e gramínea fogo)	Gramínea
Ocupação formal (urbano denso)	Áreas ocupadas	Áreas edificadas
Ocupação informal (favela)	Áreas ocupadas	Áreas edificadas
Rocha afloramento	Afloramento rochoso	Afloramento rochoso
Solo exposto	Solo exposto	Solo exposto
Cultivo	Cultivo/Silvicultura	Cultivo
Transição	Vegetação arbustiva	Vegetação arbustiva
-	Vegetação fogo/ Áreas arborizadas	Vegetação arbustiva
Transição alterada	-	Gramínea
Transição alterada	-	Gramínea
-	Estradas no urbano	-
-	Corpo hídrico	-

5.7) Delimitação das áreas de contribuição

Nesta etapa, o primeiro passo consistiu em ambiente SIG, gerar as áreas de contribuição hídrica de cada ponto amostral de coleta de água, sendo estas representadas por polígonos. Desta forma, iniciou-se a delimitação das áreas de contribuição de cada ponto de qualidade da água no programa Arcgis 10, a fim de determinar a área de drenagem que contribui para cada ponto amostral. Logo, utilizou-se como bases digitais as curvas hipsométricas 1:10.000 (GEOHECO/SMAC, 2000) e a drenagem.

Através da ferramenta de edição (*editor*) foram delimitados manualmente os polígonos em formato vetorial (*shapefile*) da área de contribuição de cada ponto, no entanto os pontos amostrais Stella, Rio Tijuca e Taunay por estarem localizados bem próximos uns

aos outros foram considerados como tendo a mesma área de contribuição, desta forma procedeu-se a delimitação de dez áreas de contribuição.

A segunda etapa consistiu em comparar a área de contribuição com as características do solo, uso do solo e cobertura vegetal e geologia, objetivando saber qual a porcentagem e a constituição de cada um destes parâmetros inseridos nas áreas dos polígonos. Este procedimento permitiu entender como estes aspectos físicos influenciam na qualidade da água.

Para tal, foi feita a sobreposição dos polígonos (gerados a partir das áreas de contribuição) nos cartogramas supracitados e através da ferramenta *clip* foi realizado o recorte de novos polígonos contendo também as informações relativas aos tipos de solo, rocha, vegetação e uso do solo. Diante destes novos polígonos gerados foi possível determinar a área e a porcentagem de cada um dos componentes físicos e antrópicos (no caso do mapa de uso do solo) e frente a estes resultados foram elaborados gráficos objetivando demonstrá-los.

5.8) Análise estatística

Esta pesquisa utilizou muitas variáveis e em razão disto, se fez necessário utilizar métodos que pudessem organizar, analisar e interpretar os dados. Logo, recorreu-se a análise estatística.

Primeiramente, foi feito o desvio padrão das amostras e sua representação graficamente. Conforme Dancey & Reidy (2013) o desvio padrão indica o grau de dispersão em relação à média, ou seja, compara as amostras da mesma população a partir da dispersão que cada uma apresenta em torno da média. Nesse sentido, foram realizados gráficos contendo esta estatística descritiva, objetivando compreender o comportamento dos parâmetros de água e relação à média.

O método estatístico adotado para a análise dos dados e compreensão das relações existentes entre parâmetros e estações amostrais será a Análise dos Componentes Principais (ACP), que é amplamente utilizado nos estudos de qualidade da água, conforme Ghrefat *et al* (2011), Astel *et al* (2008) e Simeonova e Simeonov (2007).

Esta técnica tem por fim entender a relação existente entre as variáveis do banco de dados e gera resultados satisfatórios ao se empregar vários elementos que interagem concomitantemente em um fenômeno. Assim, a ACP define os eixos principais de uma configuração multidimensional, classificando os elementos de um conjunto conforme suas

classes similares e estabelece a correlação entre estas variáveis (ANDRIOTTI, 2005). Para tal, foram empregados os softwares R e SPSS.

Desta forma, inicialmente foram agrupados os parâmetros químicos, para estabelecer a relação entre os mesmos e, posteriormente, os elementos em conjunto com as estações amostrais. Logo, cumprindo estas etapas será possível estabelecer a qualidade hidrogeoquímica das estações amostrais presentes na bacia do rio Cachoeira.

6) RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1) Produção cartográfica e resultados

A princípio, as coordenadas geográficas das estações amostrais elencadas pelo Instituto Terra Azul foram aferidas em trabalho de campo na bacia do rio Cachoeira e as coordenadas dos pontos amostrais referentes à Cedae foram disponibilizadas pela a instituição conforme comentado na metodologia. Desta forma, as mesmas foram inseridas na base cartográfica, que consistia nas curvas hipsométricas de 1: 10.000 e na hidrografia da área referente à bacia, sendo possível estabelecer a área de contribuição de cada estação, através da ferramenta de edição.

No total foram delimitadas dez áreas de contribuição, sendo que as estações Rio Tijuca, Fonte Stella e Fonte Taunay foram agrupadas conjuntamente, uma vez que possuem localização espacial contígua e o escoamento da água direciona-se para estes pontos. Em algumas estações a forma de captação da água era realizada diretamente nas fontes, que por sua vez, são canalizadas a partir dos mananciais. Nesse sentido, os pontos amostrais, por não estarem localizados precisamente no canal fluvial foram mapeados tomando como referência o canal mais próximo. O cartograma gerado encontra-se na figura 6.1.

A etapa seguinte consistiu na produção dos mapas de Uso do solo e cobertura vegetal, Pedológico e Geológico. Os cartogramas de Uso do solo e cobertura vegetal obtiveram um tratamento inicial, uma vez que as bases cartográficas disponíveis possuíam classes diferenciadas e era necessário obter uma padronização entre as classificações para fins comparativos. Desta forma, foram gerados dois mapas referentes aos anos de 2004 e 2010 (figura 6.2 e 6.3). Os cartogramas geológicos e pedológicos estão disponibilizados nas figuras 6.4 e 6.5, respectivamente.

A partir da delimitação das áreas de contribuição, os polígonos gerados foram sobrepostos aos mapas de Geológico, Pedológico e de Uso do solo e cobertura vegetal e com a ferramenta de recorte foram extraídas as informações referentes as áreas ocupadas pelas classes destas variáveis que geraram os mapas das figuras 6.6, 6.7 e 6.8 (respectivamente). Através destes dados obtidos, foi feito o cálculo em porcentagem de cada variável gerada, e posteriormente, elaborou-se os gráficos referentes a estas porcentagens (Fig 6.9, 6.10 e 6.11).

Os gráficos relativos às composições geológicas apresentaram três principais classes de rochas: Biotita Gnaisse, Gnaisse Facoidal e Granito Favela, sendo os dois primeiros tipos mais expressivos nas áreas de contribuição. Com relação aos solos, nas áreas estudadas houve

predomínio do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, mas há também a ocorrência do Neossolo Litólico e Regolítico. Já os gráficos de Uso do Solo e cobertura vegetal indicaram a presença expressiva da “Floresta secundária tardia”, porém outros usos também puderam ser identificados como: afloramento rochoso, áreas edificadas e vegetação arbustiva.

Após a geração de todos estes produtos cartográficos foi possível utilizá-los como ferramenta para a interpretação dos resultados de qualidade de água.

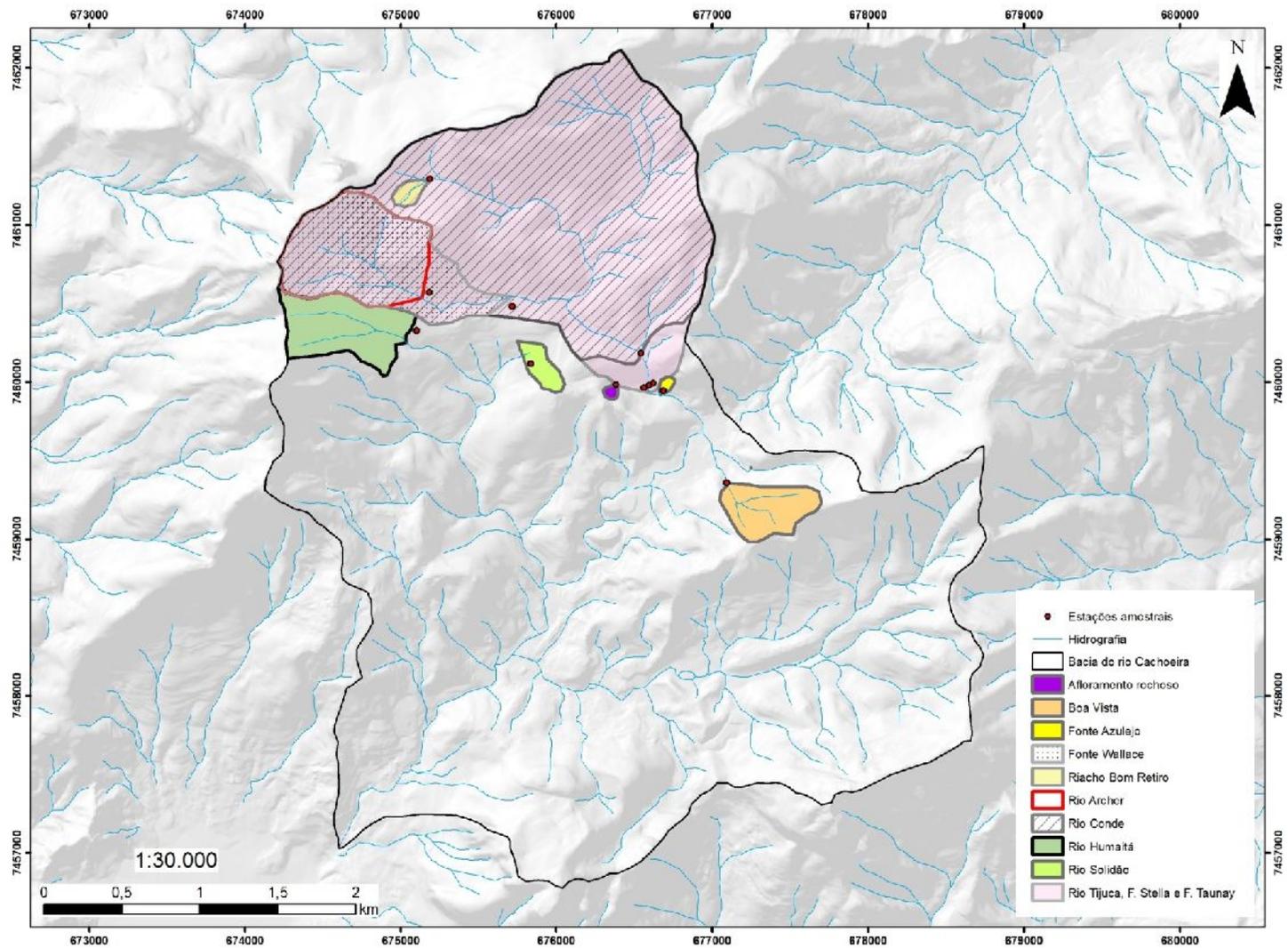


Figura 6.1: Mapa das áreas de contribuição dos pontos amostrais de coleta de água

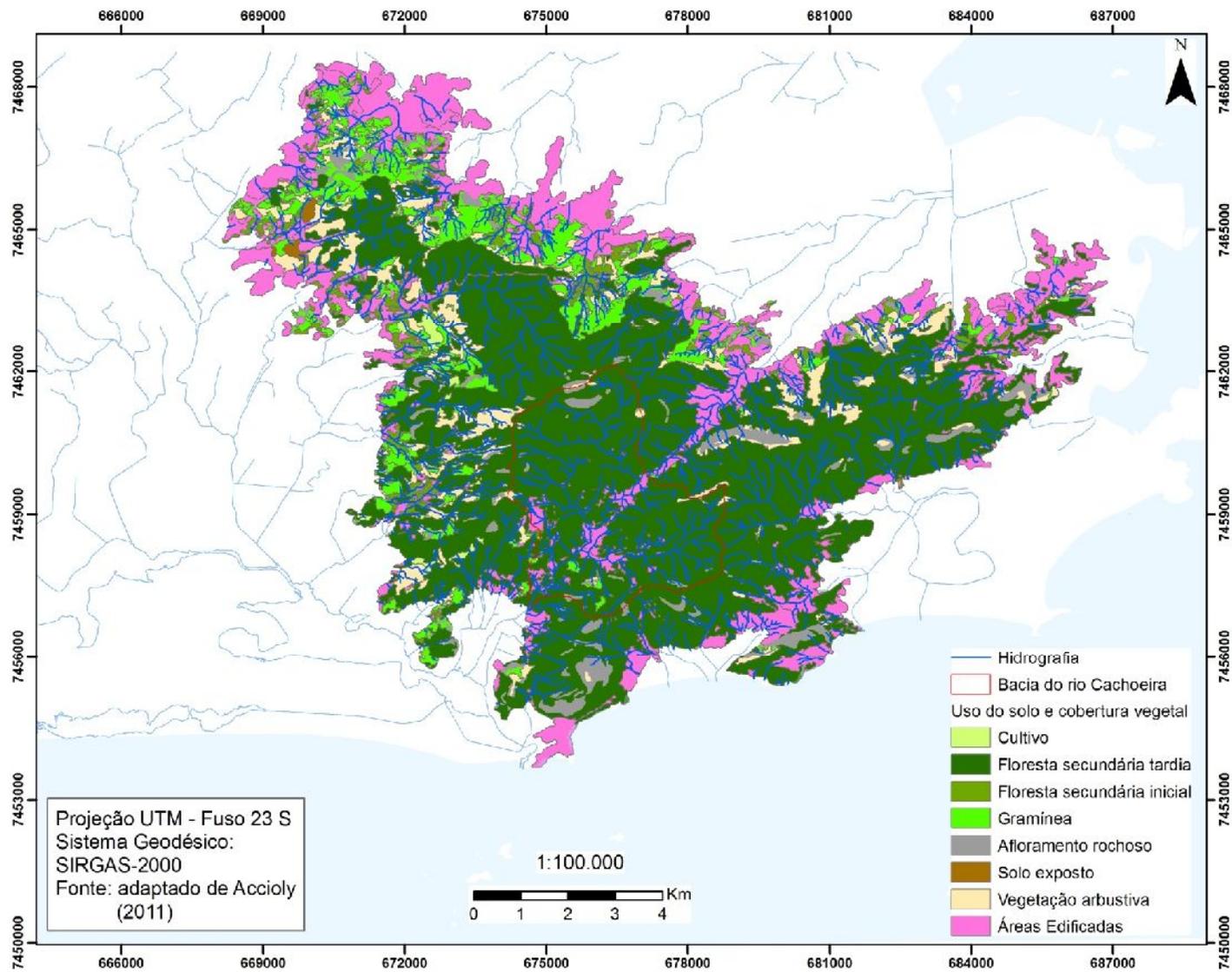


Figura 6.2: Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal referente ao ano de 2004.

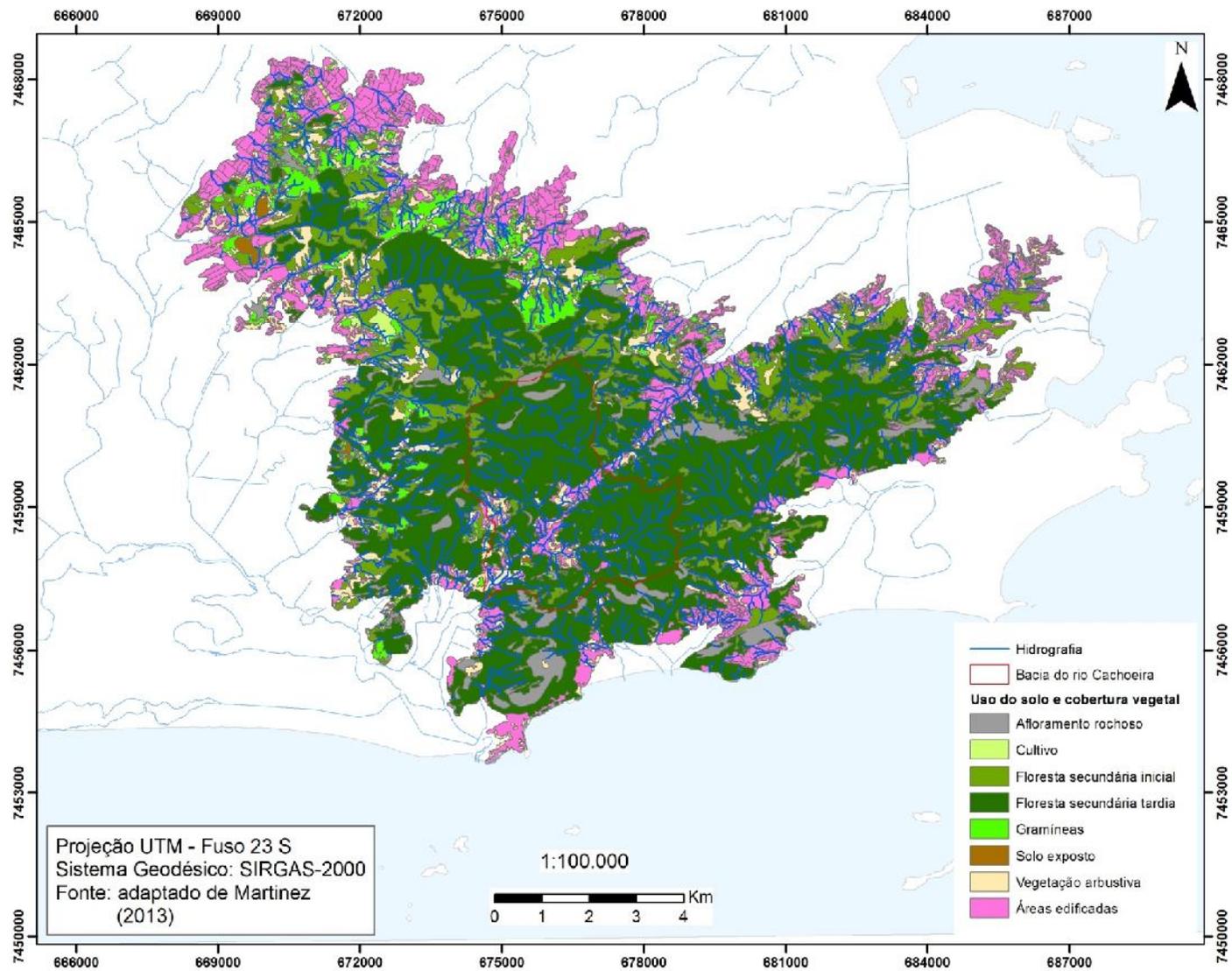


Figura 6.3: Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal referente ao ano de 2010.

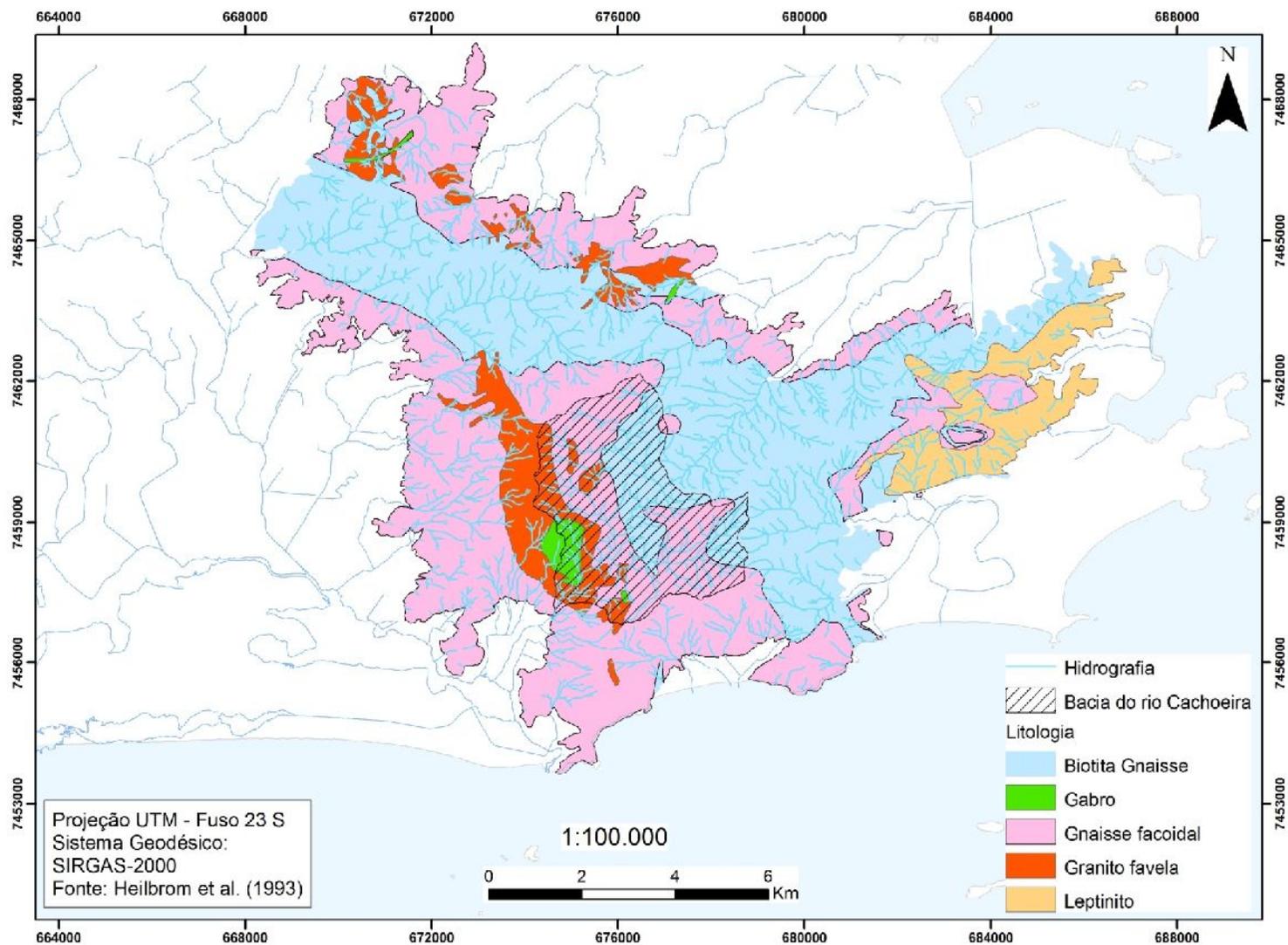


Figura 6.4: Mapa geológico do maciço da Tijuca.

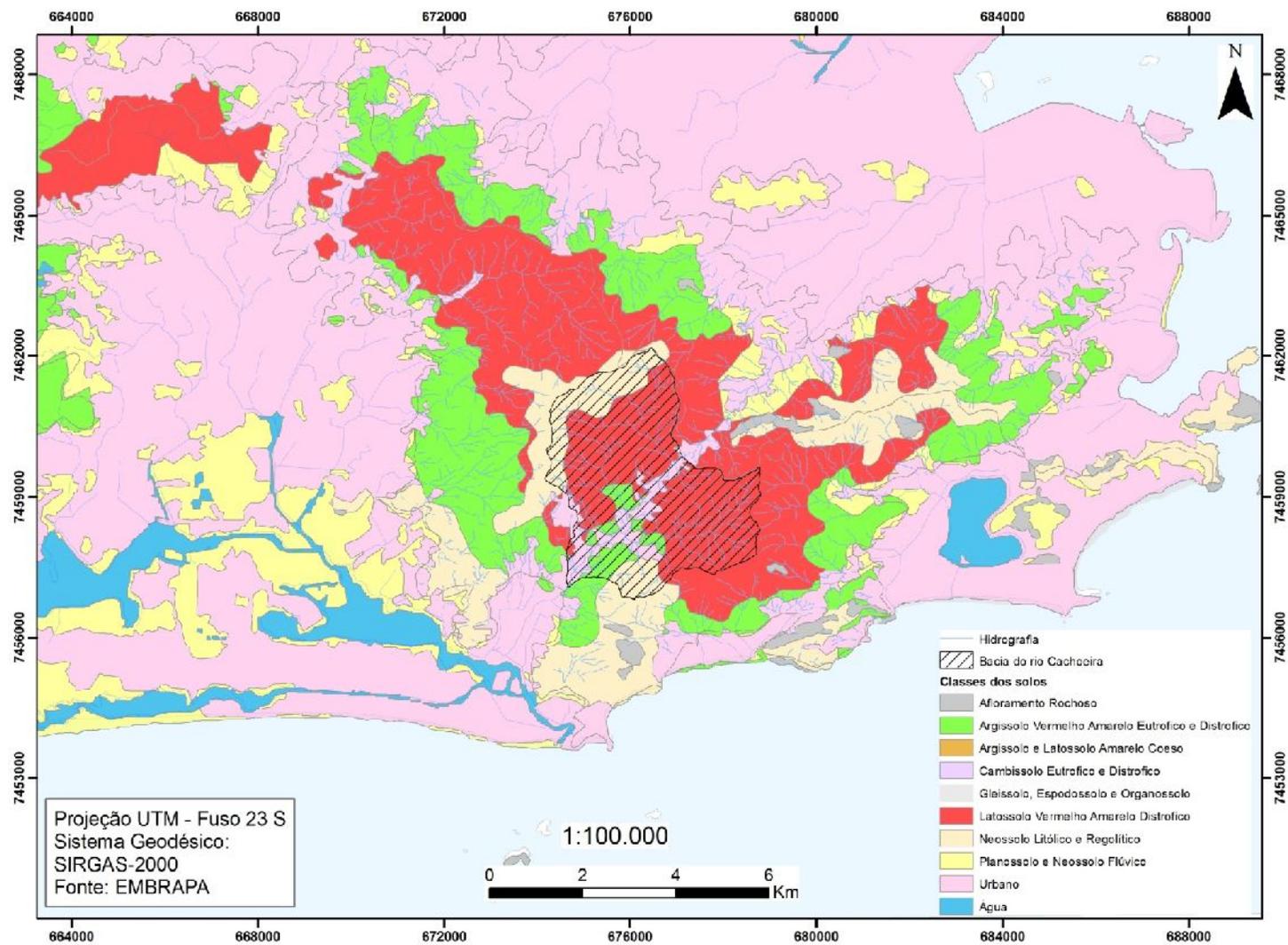


Figura 6.5: Mapa pedológico do maciço da Tijuca.

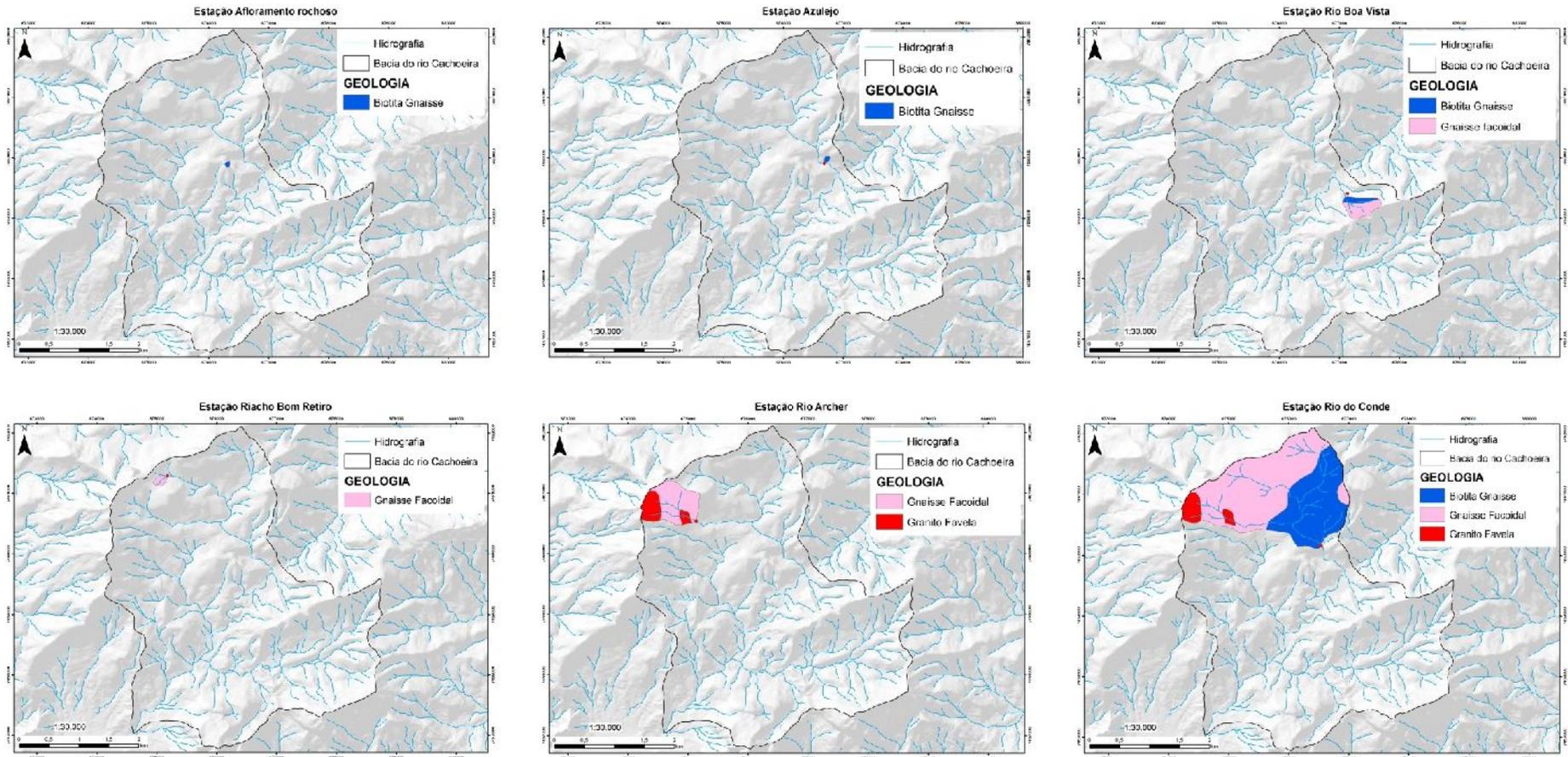


Figura 6.6. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos aos substratos geológicos.

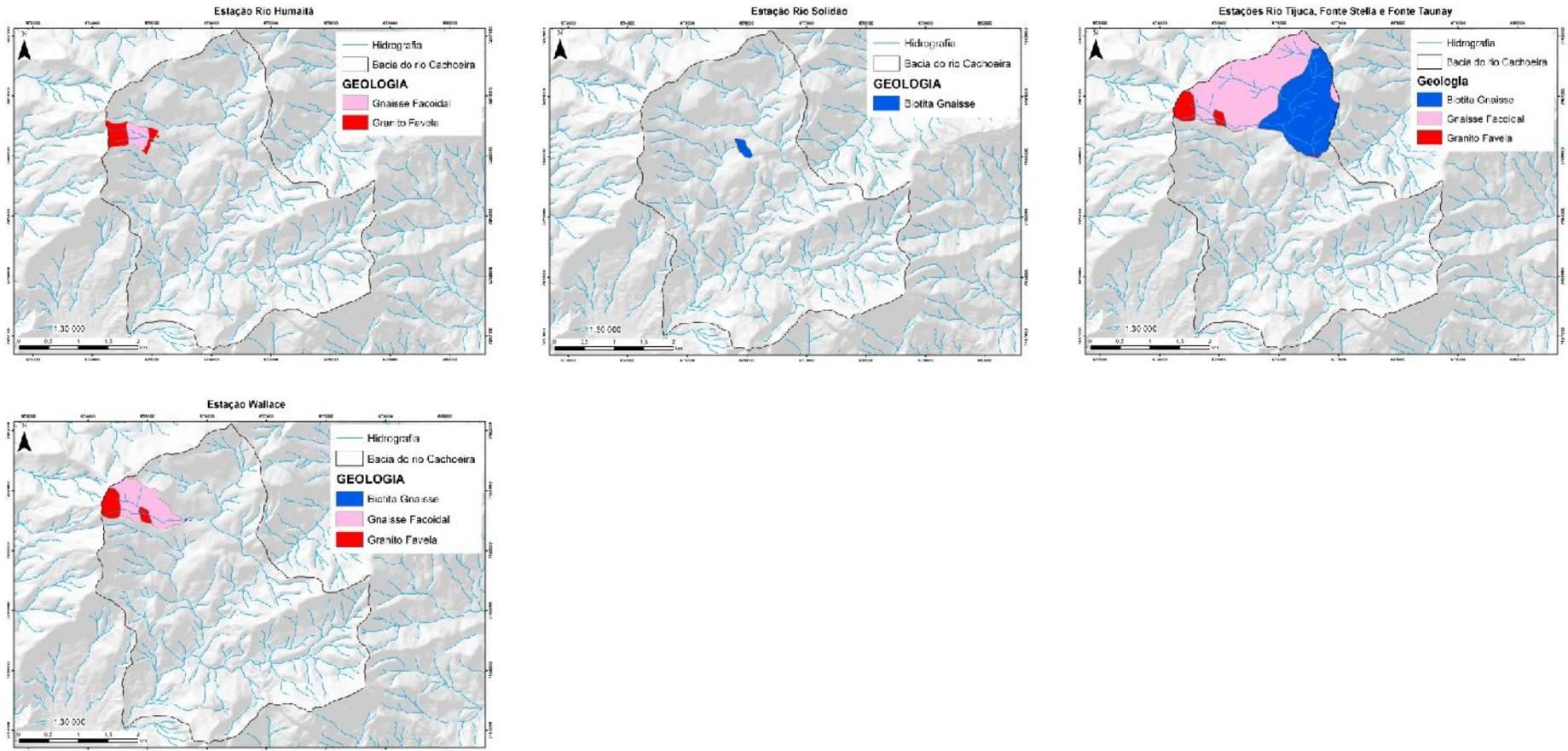


Figura 6.6. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos aos substratos geológicos.

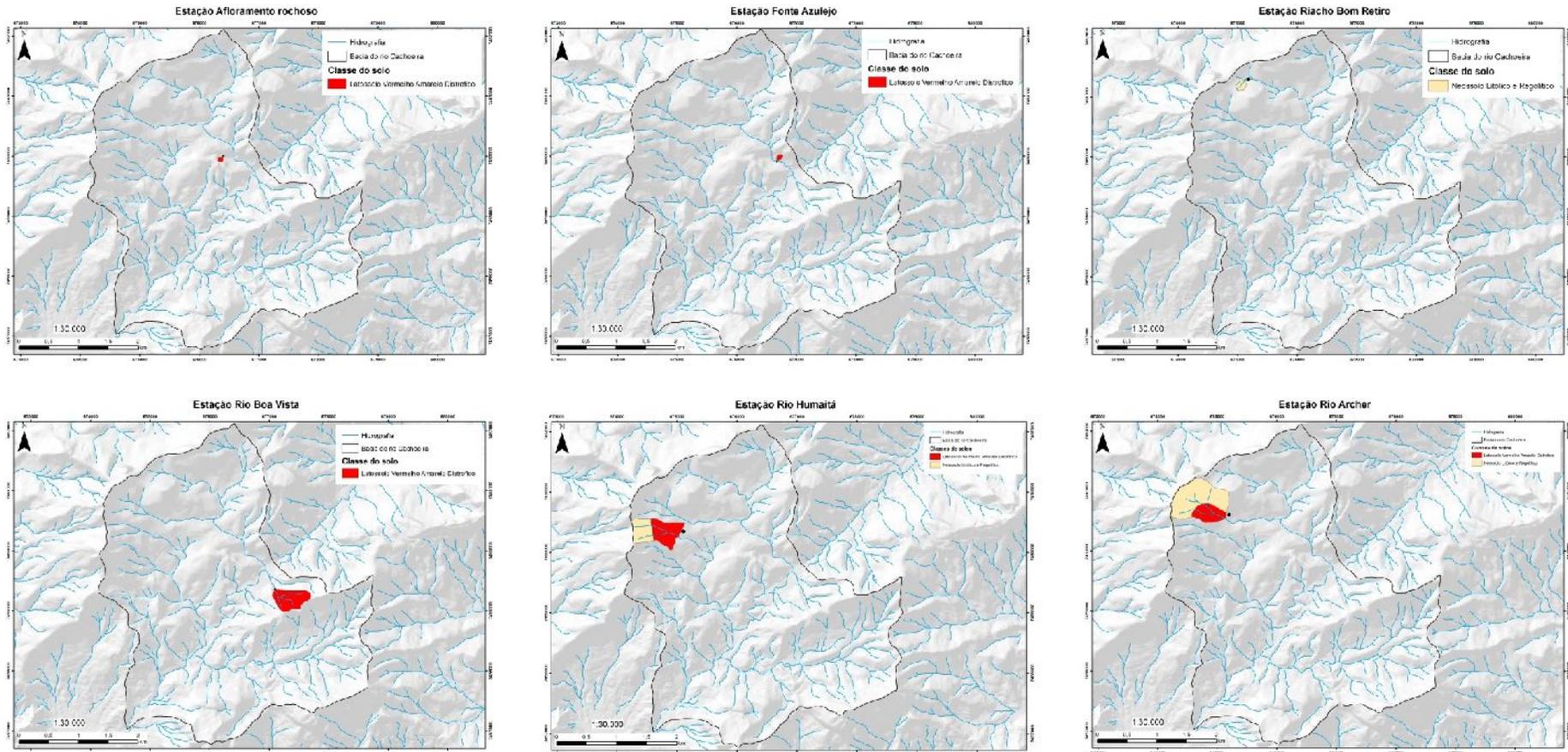


Figura 6.7. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos à pedologia.

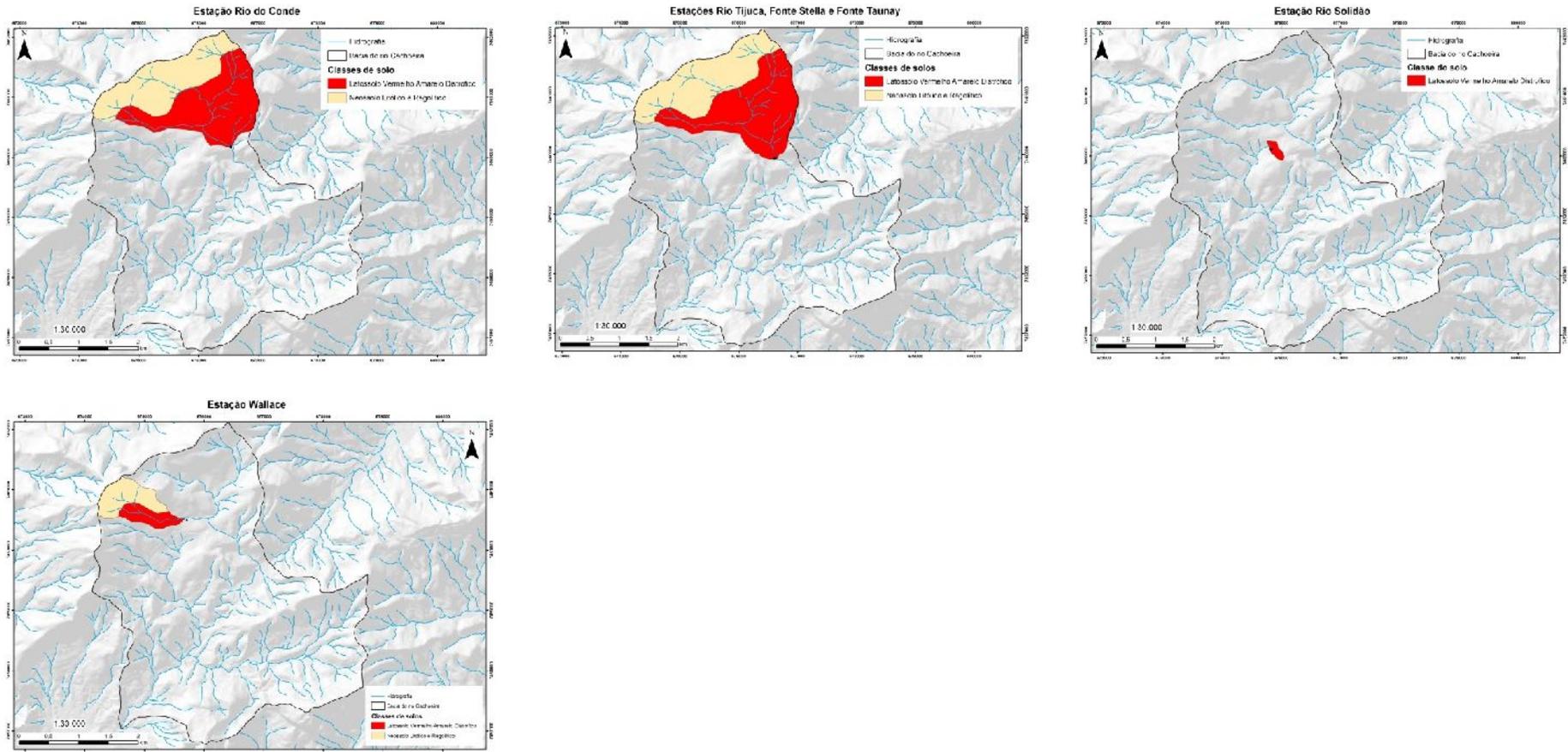


Figura 6.7. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos à pedologia.

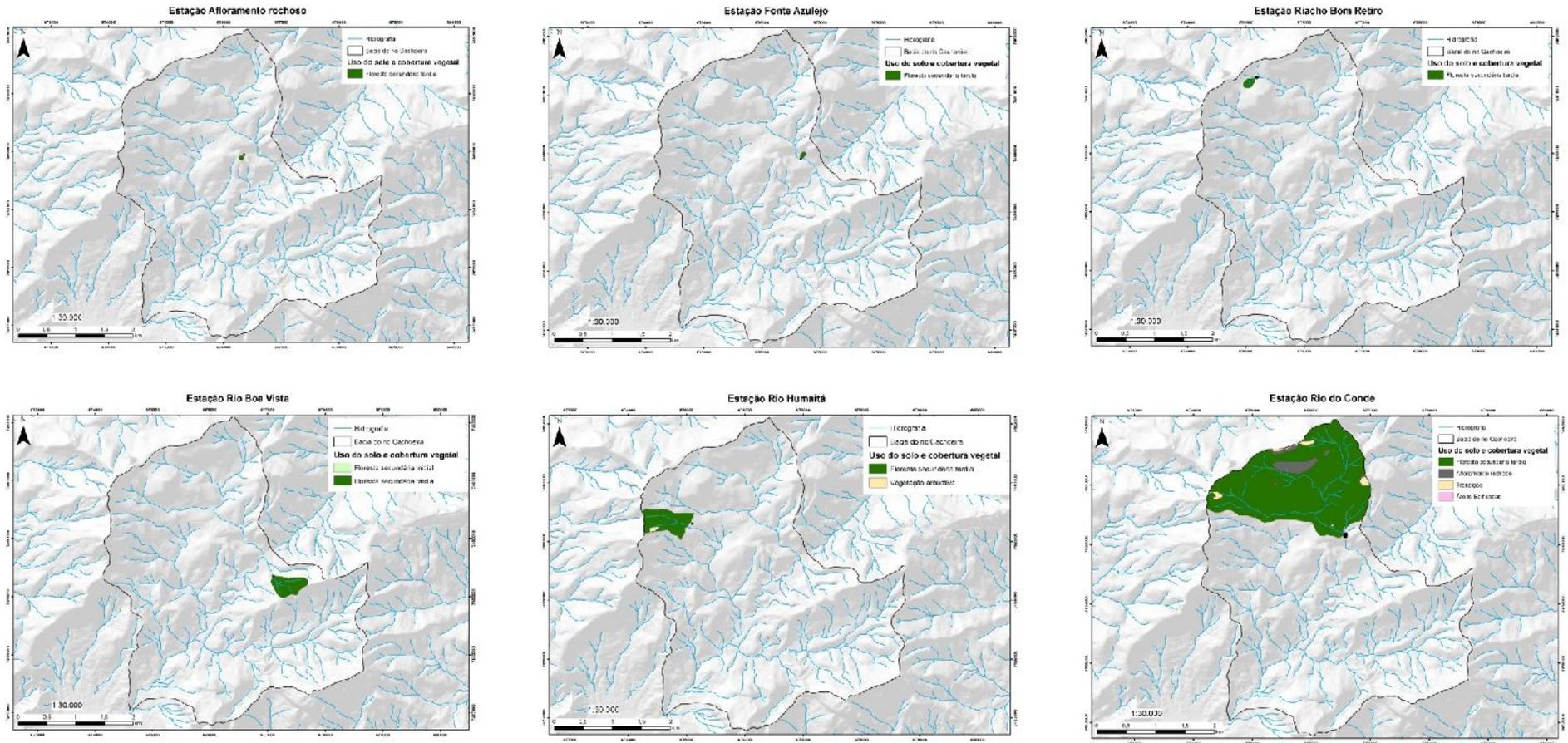


Figura 6.8. A: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos ao Uso do solo e cobertura vegetal.

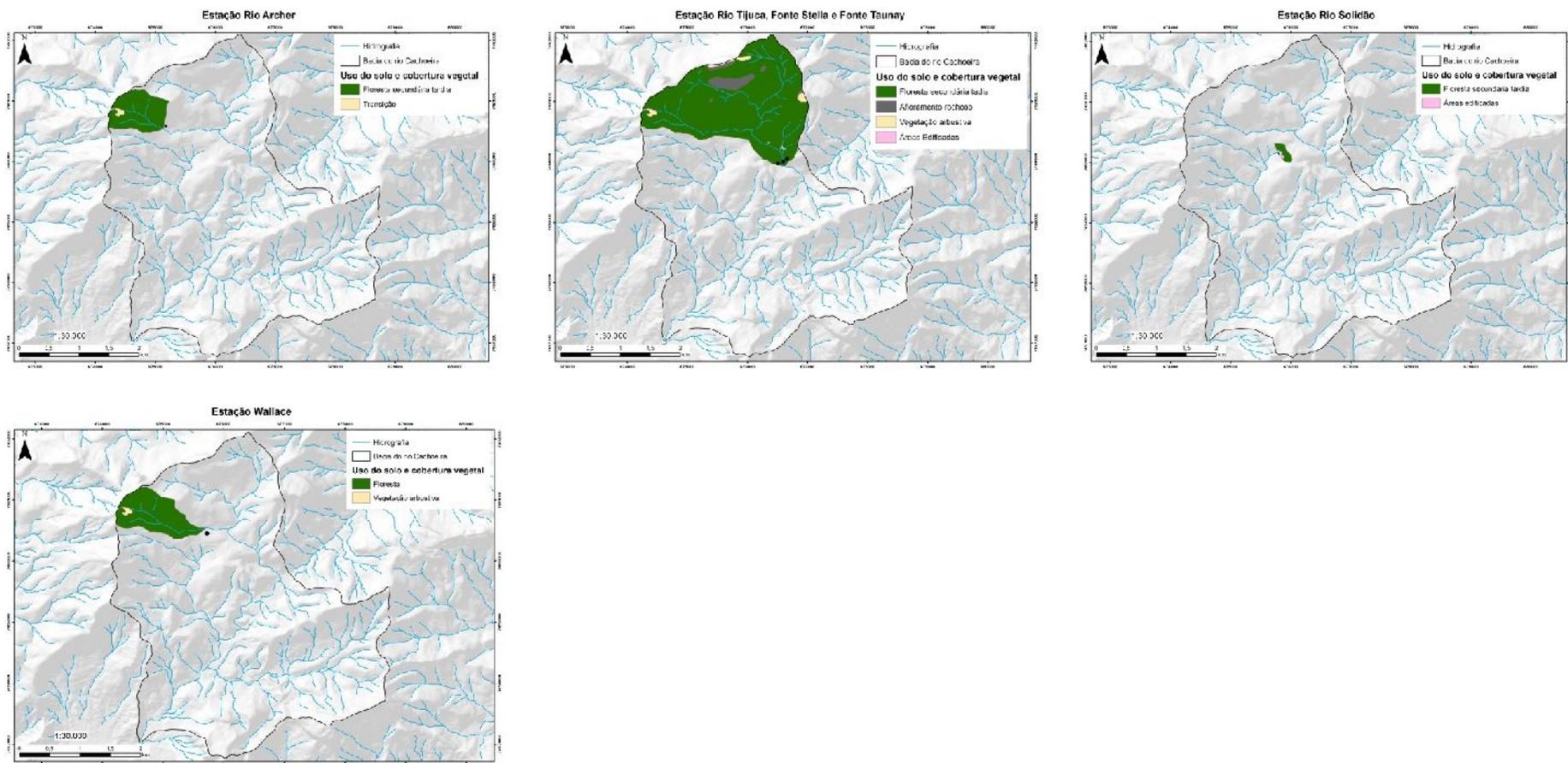


Figura 6.8. B: Mapas das áreas de contribuição sobrepostos ao Uso do solo e cobertura vegetal.

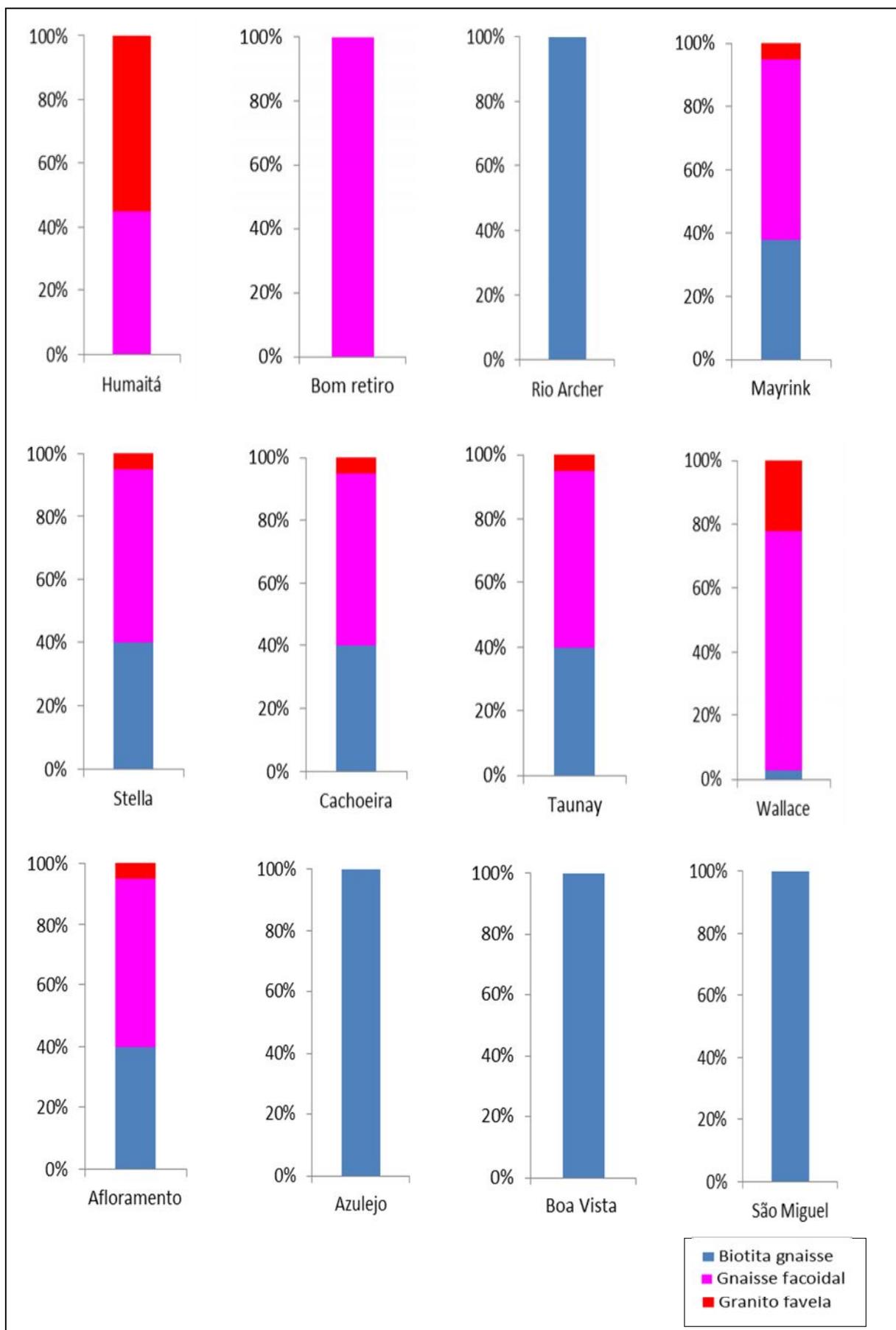


Figura 6.9: Gráficos referentes às composições geológicas das áreas de contribuição por estação.

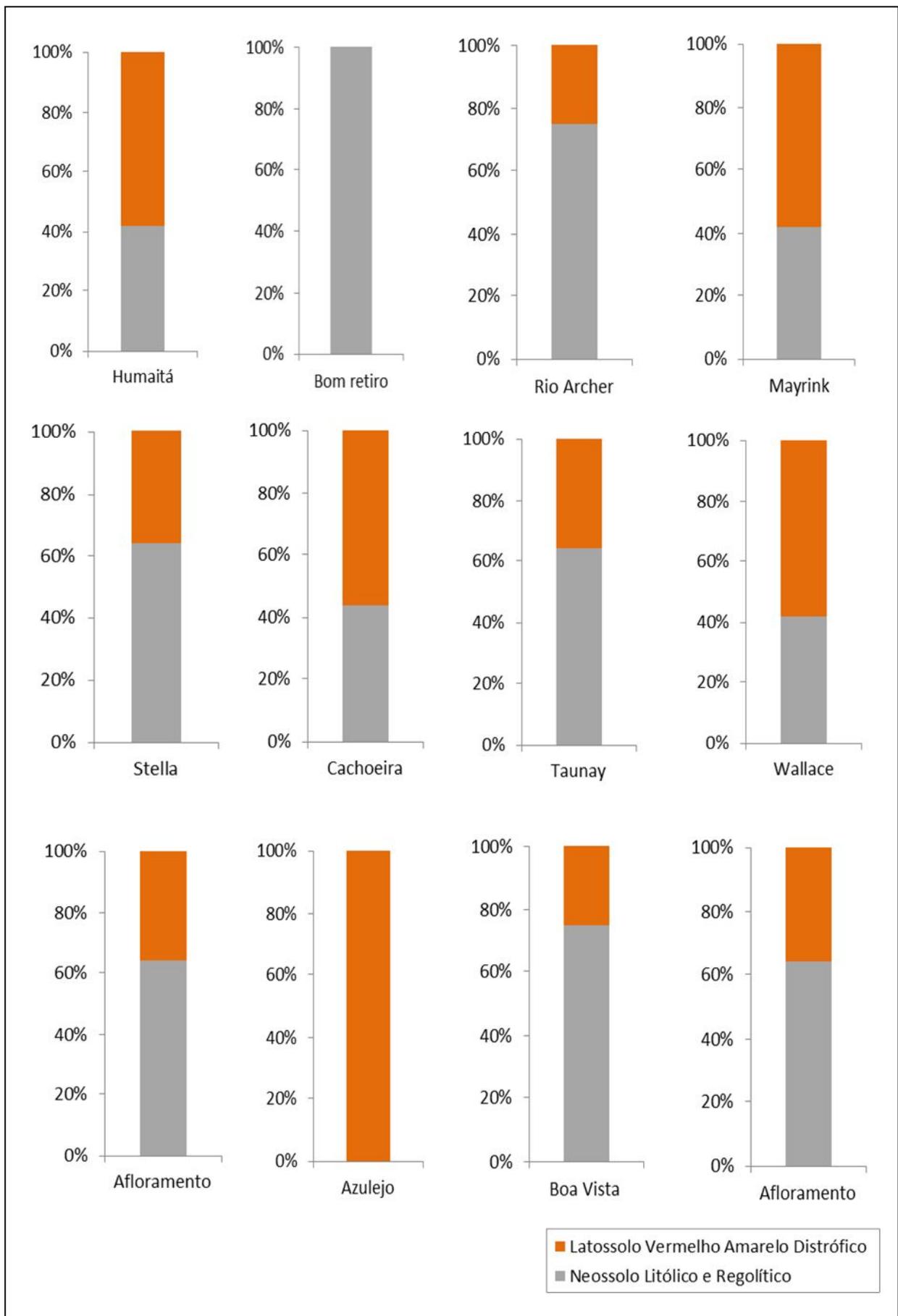


Figura 6.10: Gráficos referentes às composições pedológicas das áreas de contribuição por estação.

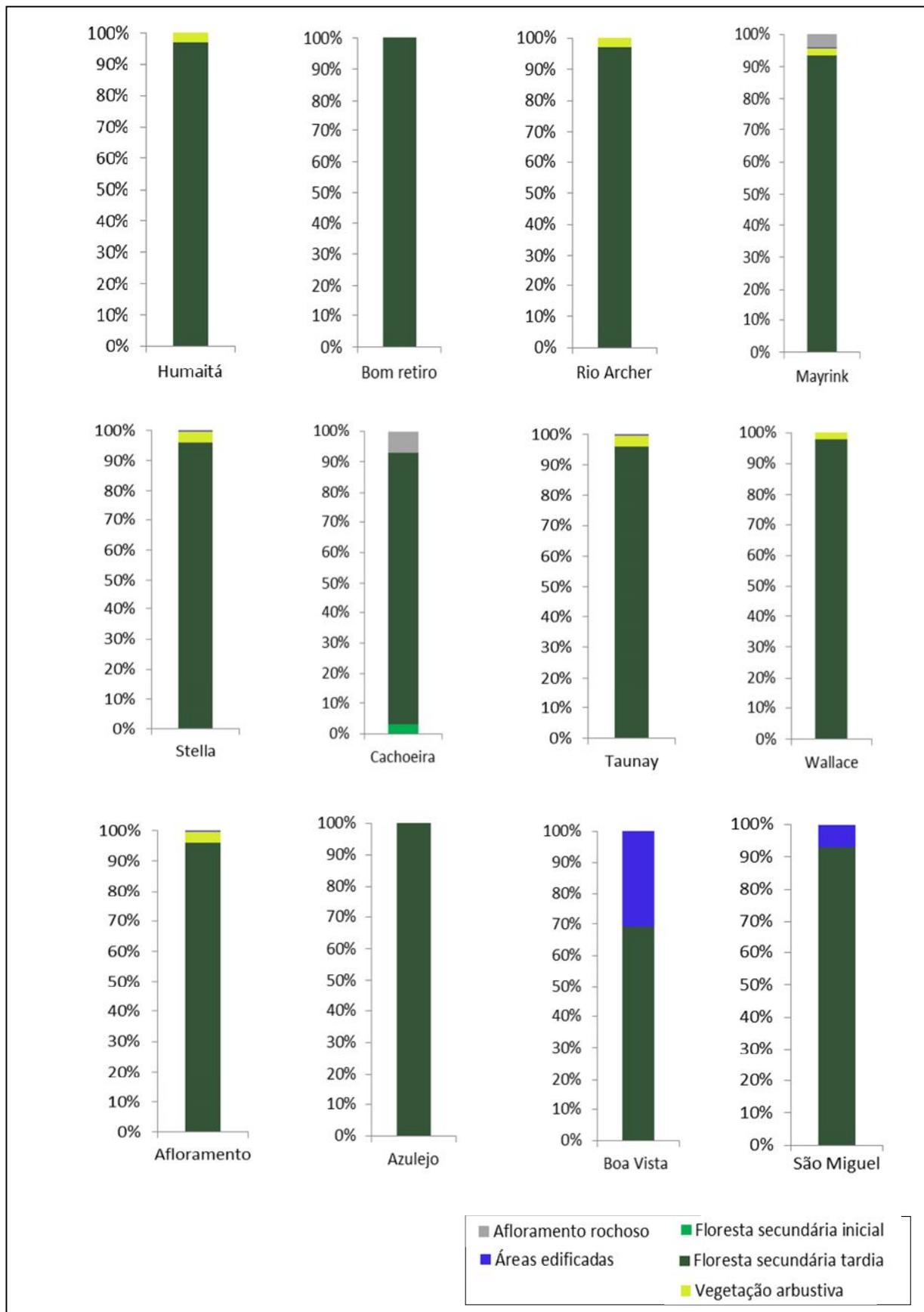


Figura 6.11: Gráficos referentes ao Uso do solo e cobertura vegetal das áreas de contribuição por estação.

6.2) Resultados estatísticos

O método da Análise dos Componentes Principais é utilizado para dados de análise fixa com variáveis fortemente correlacionadas (WOLD *et al.*, 1987; KVALHEIM, 1998) e objetiva sumarizar os dados quando o banco de dados é extenso, passando a agrupar os mesmos em um conjunto de variáveis compostas. Essas variáveis de acordo com Bernardi *et al.* (2001) estarão dispostas em um quadrante, do qual os eixos são as duas componentes mais importantes e que mostram o relacionamento entre as variáveis medidas.

Esta metodologia foi utilizada para que os elementos de qualidade da água (mensurações apresentadas para cada parâmetro) utilizados neste estudo pudessem se agrupar a partir das correlações apresentadas entre eles. A figura 6.12 demonstra os componentes agrupados e suas contribuições.

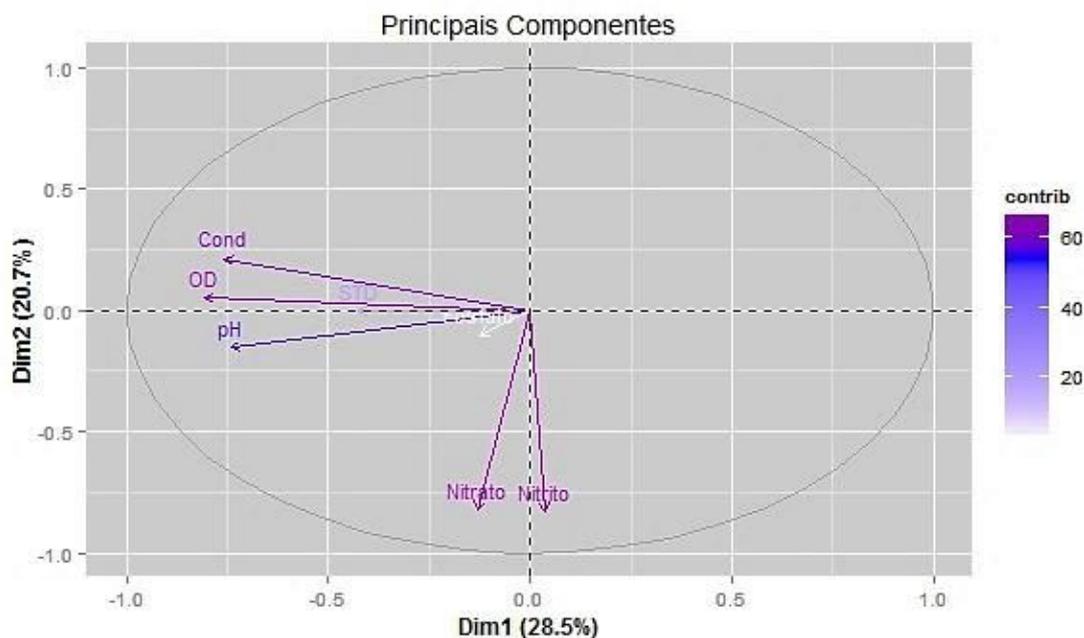


Figura 6.12: Elementos agrupados e a contribuição dos mesmos

Na análise de todas as variáveis na ACP, incluindo todas as estações amostrais, foram extraídos dois componentes principais que de forma acumulada explicaram 49,2% da variabilidade total dos dados, o primeiro explicou 28,5% da variabilidade e foi constituído pelos seguintes atributos: condutividade elétrica, OD, Sólidos totais dissolvidos (STD), pH e fosfato. Todavia, a condutividade e o OD são as variáveis que possuem maior correlação com o eixo e que mais contribuem para a explicação dos 28,5%. Já o segundo eixo, explicou 20,7% da variação dos dados e foi representado pelo nitrito e nitrito.

Atribui-se ao fosfato uma baixa contribuição nos dados amostrais, chegando a ser quase nula, isto porque, os dados pouco se alteraram do valor de 0,02 mg/L e duas estações como o Rio Boa Vista e Rio Tijuca não fizeram mensurações para este parâmetro de qualidade de água.

Esta análise mostrou que existe a correlação entre os fatores, sendo isto comprovado pelas variáveis que estão na mesma dimensão e que, em geral, nas pesquisas existem similaridades entre os elementos representados, como condutividade elétrica e pH, condutividade e STD, nitrito e nitrato, bem como OD e pH.

Na análise realizada entre os elementos da água e sua relação com as estações amostrais representados pelo biplot da figura 6.13, observa-se que os indivíduos se manifestam muito próximos uns aos outros e as elipses, representadas pelas estações, também se comportam da mesma maneira. A literatura aponta que em alguns estudos esta sobreposição de variáveis indica que o banco de dados é insuficiente para realizar as correlações. Porém, nesta pesquisa trabalhou-se com 1.323 resultados de qualidade da água, indicando que este número é satisfatório para a metodologia adotada.

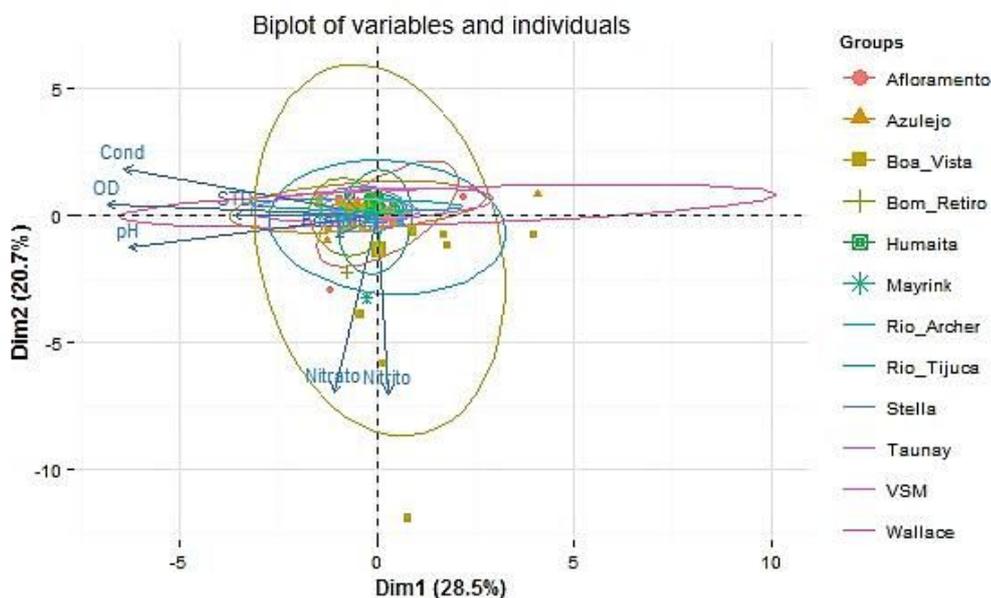


Figura 6.13: Biplot da correlação entre as variáveis e as estações amostrais

Pode-se então concluir que as estações e os pontos se mostram sobrepostos uns aos outros em razão da não ocorrência de alterações significativas no desvio padrão dos dados amostrais e, nesse sentido, as áreas amostrais e suas respectivas áreas de contribuição não se diferenciaram significativamente uma das outras e as respostas de qualidade da água revelaram-se bastante similares.

As áreas de contribuição juntamente com as estações amostrais em questão produzem respostas de qualidade da água bem próximas à homogeneidade frente às variações da precipitação, uso do solo e cobertura vegetal, geologia e pedologia da bacia.

6.3) Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água

Esta etapa consistiu na apresentação e discussão dos resultados referentes à qualidade de água, evocando também outras pesquisas e outros autores que obtiveram resultados similares em seus estudos e puderam contribuir para a interpretação das informações. Para o embasamento desta discussão foram utilizados os dados referentes à qualidade de água, as mensurações de precipitação, análises com o desvio padrão e os gráficos apresentados anteriormente.

6.3.1) Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos

A condutividade elétrica (CE) conforme a APHA (1998) está atrelada à presença de íons dissolvidos (partículas carregadas eletricamente) na água, desta forma, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos disponíveis na água, maior será a condutividade elétrica. Posto isto, este parâmetro auxilia no reconhecimento de impactos ambientais na bacia, a partir da presença de íons. Nesse sentido, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representam ambientes impactados. Já a resolução Conama 357/2005 não estabelece um valor máximo para os valores de condutividade e sólidos totais dissolvidos.

Os valores de CE estão ligados essencialmente à composição litológica. Cabaleiro (2010) acrescenta que os cursos d'água drenados em áreas de litologia constituída por rochas pouco resistentes ao intemperismo químico apresentam condutividade inferior a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Baggio (2008) obteve como resultado de seus estudos um aumento da condutividade em função da variável litológica, devido aos litotipos sedimentares da Formação Três Marias (MG) que apresentavam concentrações relevantes de óxidos de magnésio, cálcio e alumínio dissolvidos na água.

No estudo vigente, os pontos amostrais que apresentaram maiores concentrações nos valores de CE foram as estações Fonte Azulejo (83 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e o Riacho B. Retiro (77 $\mu\text{S}/\text{cm}$), conforme a variação espaço-temporal da CE nos pontos amostrais de água, representada pela figura 6.14.

Com o intuito de compreender essas variações, foram tomadas como referências as porcentagens obtidas das áreas de contribuição referente ao Uso do solo e cobertura vegetal, pedologia e geologia. Nesse sentido, foram obtidos os seguintes resultados: a Estação F. Azulejo apresentou 100% de área de Floresta secundária tardia, de Biotita gnaiss e Latossolo vermelho amarelo distrófico. Já o Riacho B. Retiro mostrou-se com 100% de área de Floresta secundária tardia, de Gnaiss facoidal e Neossolo litólico e regolítico.

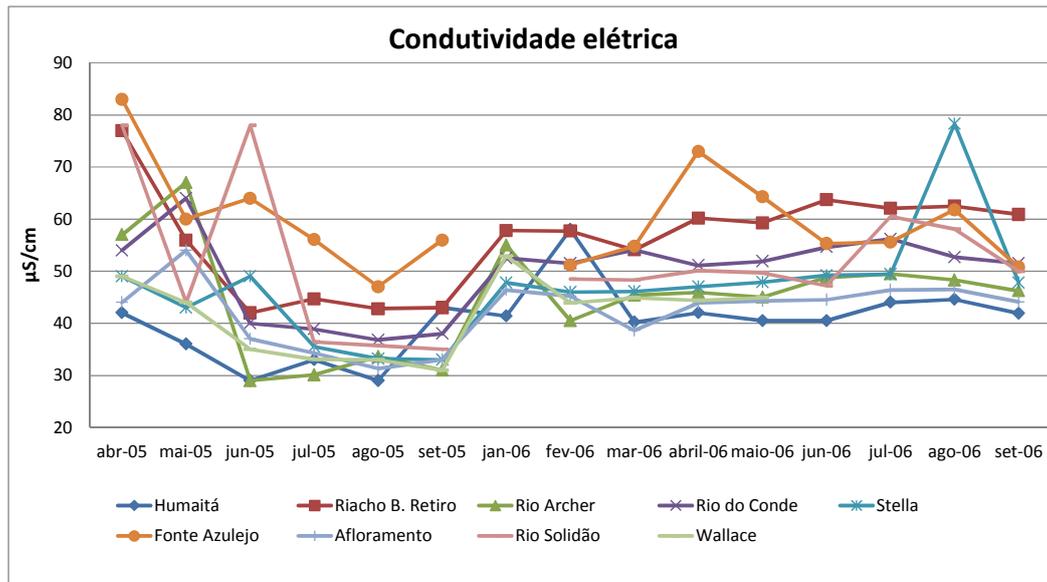


Figura 6.14: Variação espaço-temporal da CE para os pontos amostrais pesquisados

As concentrações elevadas obtidas nos dois pontos não estão associadas ao uso do solo da bacia, visto que os pontos amostrais estão situados em áreas florestais em estágio avançado de conservação. Na pesquisa de Araujo (2013) os valores de CE mostraram-se elevados em razão do uso do solo da bacia, que era destinado à agricultura e, por sua vez, ao manejo tradicional que gerava revolvimento do solo e carreamento dessas partículas para os canais fluviais.

No que tange a Fonte Azulejo observa-se na composição geológica a presença da Biotita gnaiss. Conforme Nava *et al* (1991) a unidade Biotita gnaiss é composta predominantemente de feldspato, seguido pela biotita e em menor proporção o quartzo. Costa *et al* (1986) acrescentam que esta rocha é mais susceptível ao intemperismo físico e químico, devido ao papel da foliação metamórfica que facilita e orienta a penetração da água (decompondo mais facilmente os minerais) e também por apresentar minerais ferromagnesianos decompostos.

Em relação à pedologia, o solo deste ponto amostral é representado pelo Latossolo, que por sua vez, é muito intemperizado e foi submetido, por um longo período, a um intenso processo de lixiviação (LEPSCH, 2011). Essas características do solo e rocha nesta estação amostral faz com que haja elevada presença de íons dissolvidos, que se expressa através de elevados valores de CE, em razão da grande quantidade de sólidos que atingem o corpo hídrico. Devido à sua localização na margem da estrada, a Fonte Azulejo também recebe partículas sólidas providas do ar, contribuindo para o aumento deste parâmetro referido na água.

Já a estação Riacho Bom Retiro possui como unidade geológica o Gnaisse facoidal, que por sua vez, possui maior porcentagem de feldspato, seguido sucessivamente por quartzo e por último a biotita. Por apresentar uma textura grosseira associada à presença de cristais de feldspato (facóide), a rocha mostra-se pouco xistosa (NAVA *ET AL.*, 1991). Este tipo de gnaisse apresenta menor vulnerabilidade ao intemperismo, devido à presença de facóides, que em grande quantidade oferecem maior compacidade (COSTA *ET AL.*, 1986). O solo presente neste local é o Neossolo. Segundo Lepsch (2011, p. 336), o mesmo “apresenta nenhuma ou pouca evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais, são compostos de material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura, não possuindo horizonte B diagnóstico, sendo extremamente resistentes ao intemperismo”. Posto isto, apesar da baixa suscetibilidade ao intemperismo, atribui-se esta alta concentração de CE na água a precipitação que entra nos compartimentos, solubiliza os íons e disponibiliza-os na água.

No que tange aos resultados referentes às estações Rio Tijuca e Rio Boa Vista identificou-se que a CE apresentou quase o mesmo comportamento nos dois pontos amostrais (ver figura 6.15), embora o rio Tijuca mostrou-se com valores um pouco mais baixos. Isto em função até mesmo do uso do solo desta área de representação.

A estação Rio Boa Vista, por sua vez, apresentou valores mais elevados, no entanto dentro do limite citado pela literatura. No mês de junho de 2007 foi mensurado 62,7 mg/L e em fevereiro de 2012: 82,7 mg/L. Nesse sentido, recorreu-se as demais informações a fim de compreender tal comportamento (de acordo com a figura 6.16). Conforme já mencionado a biotita gnaisse mostra-se como uma unidade geológica bastante susceptível ao intemperismo, desta forma, pode contribuir o aumento dos íons na água. Já o solo, está predominantemente representado na área de estudo pelo Neossolo, que como também retratado possui baixa vulnerabilidade a ocorrência do intemperismo. Logo, a geologia pode influenciar nos valores de CE a partir da ocorrência das precipitações que lixiviam os minerais das rochas, embora o solo não exerça o mesmo papel.

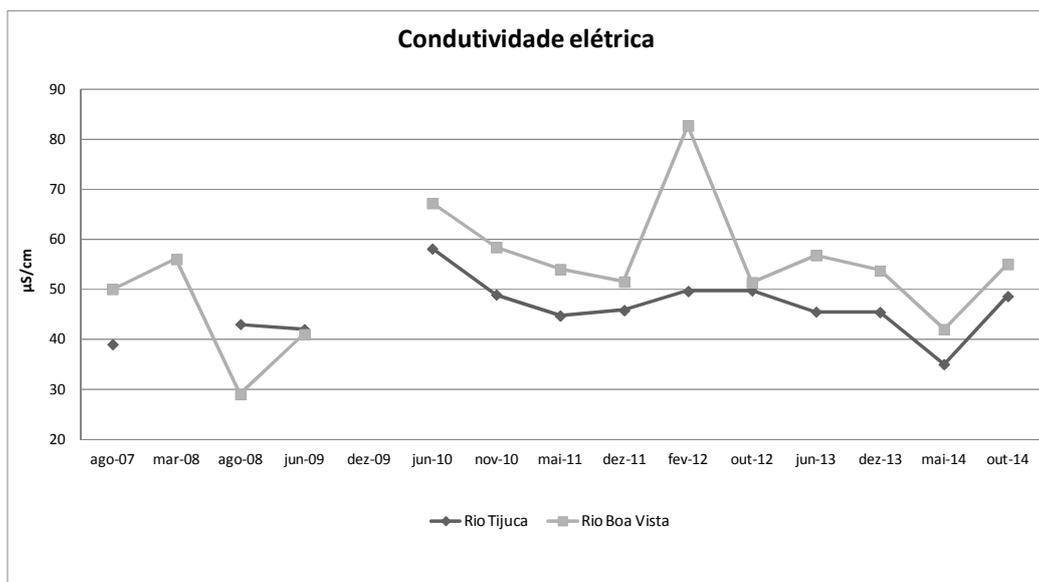


Figura 6.15: Variação da CE nos pontos amostrais Rio Tijuca e Rio Boa Vista

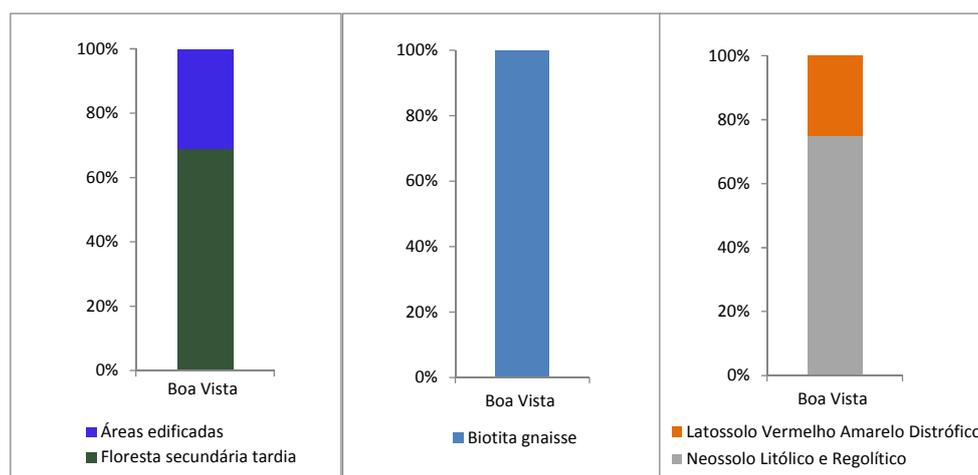


Figura 6.16: Composição geológica, do uso do solo e cobertura vegetal e pedologia da estação Rio Boa Vista

Baggio (2008) discute sobre os seus resultados desenvolvidos na bacia do rio Formoso, município de Buritizeiro (MG), informando que na área de coleta de água em que existe uma grande incidência de cobertura vegetal a CE mostrou-se baixa, ou seja, 5,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No momento em que o uso do solo passa a ser destinado à agricultura comercial de grãos, em que o material pedológico é revolvido e carregado para o curso de água estes valores aumentam. No baixo curso do canal, em que é desenvolvida a agricultura comercial e pecuária a CE atinge valores de 109 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A estação de monitoramento de coleta de água Rio Boa Vista está situada na faixa em que o rio Cachoeira sai da Floresta da Tijuca, entra nas áreas urbanas e grandes quantidades de dejetos e resíduos sólidos e líquidos são lançadas nos cursos d'água neste ponto (conforme informações do CEDAE e vistas de campo). A área de contribuição envolve 31% de áreas edificadas que influenciam diretamente para a entrada de íons na água, respondendo desta maneira, para as maiores concentrações de cátions e ânions nos corpos hídricos. Este fator associado a maiores índices de precipitação potencializa a entrada dos mesmos.

Com relação à estatística descritiva, o desvio padrão demonstra que os valores na maioria das estações estão distantes da média (conforme figura 6.17).

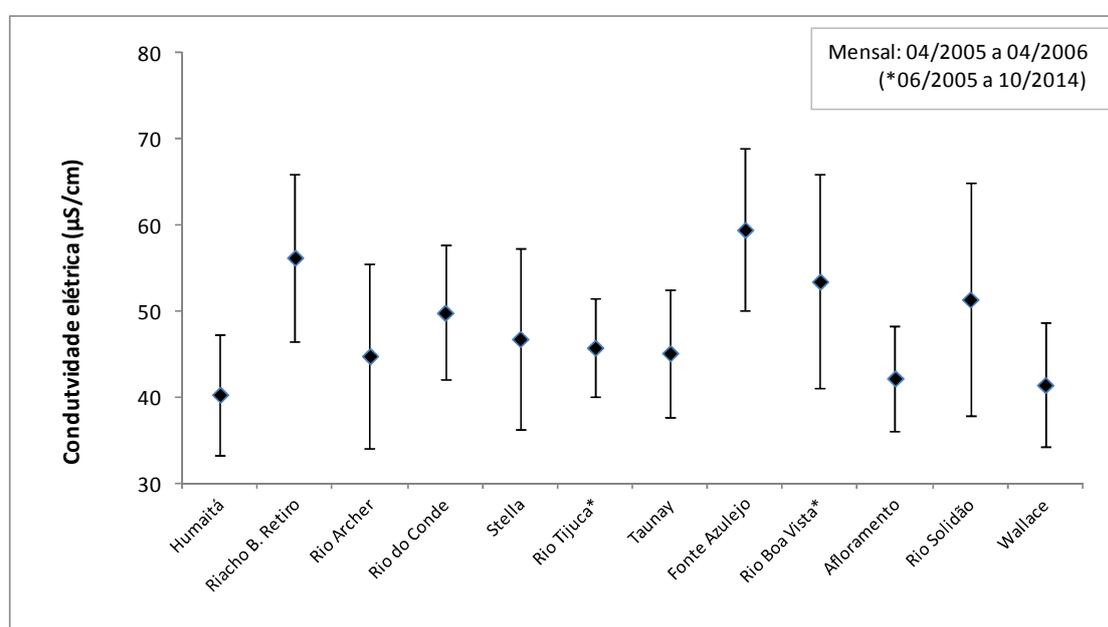


Figura 6.17: Estatística descritiva para condutividade elétrica

Os sólidos totais dissolvidos (STD) são as impurezas e sólidos presentes na água e conforme Vieira (2008) estes sólidos provêm do carreamento das partículas do solo (em função dos processos erosivos) pelas águas pluviais. Conforme Vaitsman (2005), em águas naturais os sólidos se constituem principalmente por carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), fosfato (PO_4^{3-}) nitrato de cálcio, magnésio, potássio, pequenas quantidades de ferro e magnésio.

É um parâmetro que está totalmente atrelado à condutividade elétrica, deste modo foi observado que as variações referentes aos sólidos totais dissolvidos também repercutiam nas alterações da condutividade elétrica, ou seja, maiores ou menores concentrações de STD na água aumentavam ou diminuía a disponibilidade de íons dissolvidos na água.

Foi elaborado o diagrama de dispersão, a fim de visualizar o grau de correlação entre as variáveis de CE e de STD. Logo, os resultados apontaram que existe uma correlação linear entre as mesmas, ou seja, se uma reta for traçada os pontos do diagrama de dispersão se aproximam dela e esta correlação caracterizou-se como positiva, pois os valores crescentes de STD influenciaram na tendência de valores crescentes em CE (figura 6.18).

Os resultados de STD encontrados variaram de 14 a 51 mg/L, conforme figura 6.19. Nas estações rio Boa Vista e rio Tijuca (em que a análise está sendo feita separadamente devido à série histórica ser maior e não coincidir com o mesmo período de coleta amostral), os resultados apresentaram médias de 53,4 mg/L e 45,8 mg/L respectivamente, valores estes muito próximos as médias das outras estações e também seguiram a tendência da CE, ou seja, no ponto amostral Rio Boa Vista nos meses de junho de 2010, o resultado foi de 35 mg/L e em fevereiro de 2012 foi de 46 mg/L. A resolução Conama 357/2005 não estabelece um valor máximo de concentração para este parâmetro.

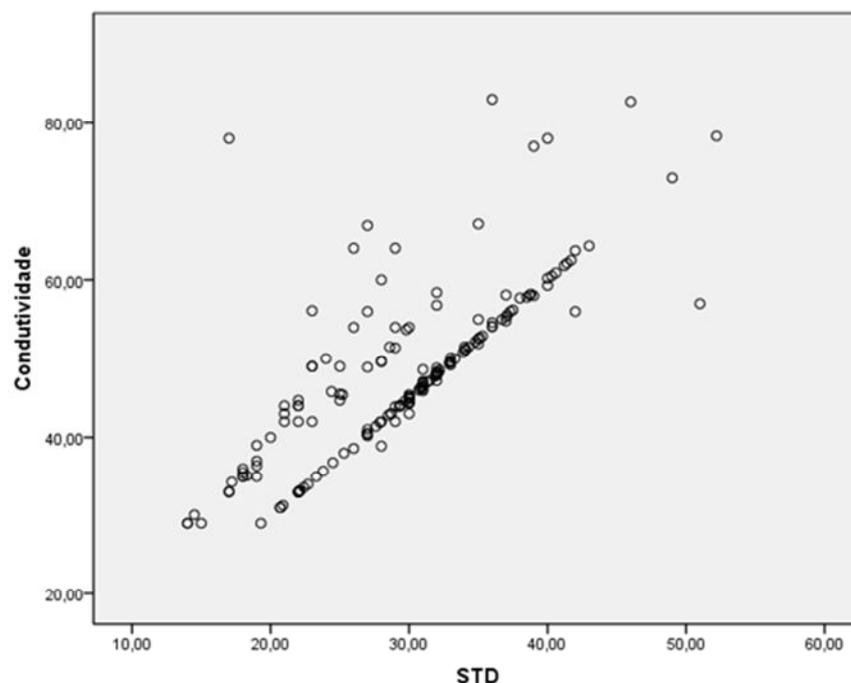


Figura 6.18: Diagrama de dispersão entre sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica

Com a finalidade de entender os resultados de STD e seus valores encontrados na água em florestas tropicais, utilizou-se da pesquisa de Pires (2005) para a comparação dos resultados. Pires (2005) desenvolveu o estudo em duas unidades de conservação: Parque Nacional da Serra dos Órgãos e no Parque Estadual dos Três Picos, no município de Teresópolis. Os resultados demonstraram que os valores de STD foram baixos, ou seja,

nenhuma amostra apresentou valor superior a 10 ppm (ou seja, 10 mg/L). Desta forma, comparou-se as mensurações obtidas na Floresta da Tijuca com as de Pires e o que se observou é que os resultados da Floresta são satisfatórios, mas são superiores comparados aos valores de Pires (2005).

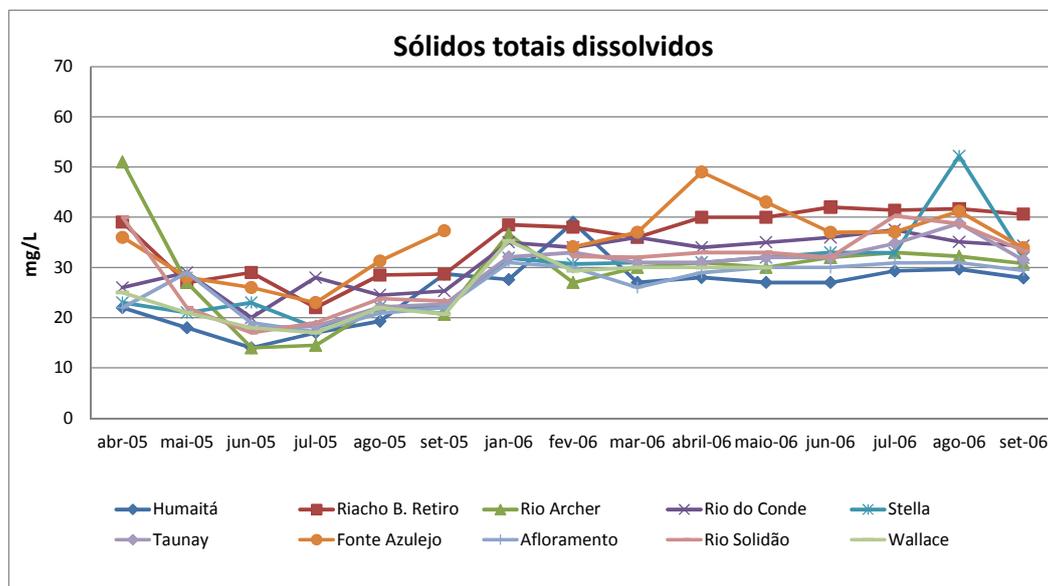


Figura 6.19: Variação de STD nas estações amostrais

O autor supracitado não informou os valores de temperatura da água obtidos em sua pesquisa, porém pode-se concluir que as temperaturas mais elevadas tendem a solubilizar mais, fazendo com que a decomposição da biomassa presente seja mais rápida. Assim, por se tratar de uma região serrana, com menores temperaturas, este processo tende a ocorrer mais lentamente não disponibilizando tantos STD como os encontrados na Floresta da Tijuca.

O estudo hidrogeoquímico de Panagoulas (2000) realizado no rio Soberdo, localizado na Unidade de Conservação Ambiental do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) em Guapimirim (RJ), demonstrou que os resultados de STD estão atrelados à vegetação e a ausência de atividade antrópica dentro do parque, o que por sua vez, indicou que as águas dentro desta UC são consideradas background.

Com relação ao desvio padrão do STD, foi constatado o mesmo comportamento da CE, ou seja, uma grande variabilidade dos valores de cada estação, estando eles distantes da média (figura 6.20).

Em relação ao comportamento da CE e dos STD diante das variações dos períodos de chuva e estiagem, depreende-se que em algumas estações – como Bom Retiro, rio Boa Vista, Afloramento rochoso e Fonte Azulejo (figura 6.21), não foi possível obter uma conclusão devido à série histórica dos dados de qualidade da água ser curta ou em alguns momentos as

variáveis apresentarem oscilações frente às estações mais secas e chuvosas não demonstrando um comportamento padrão.

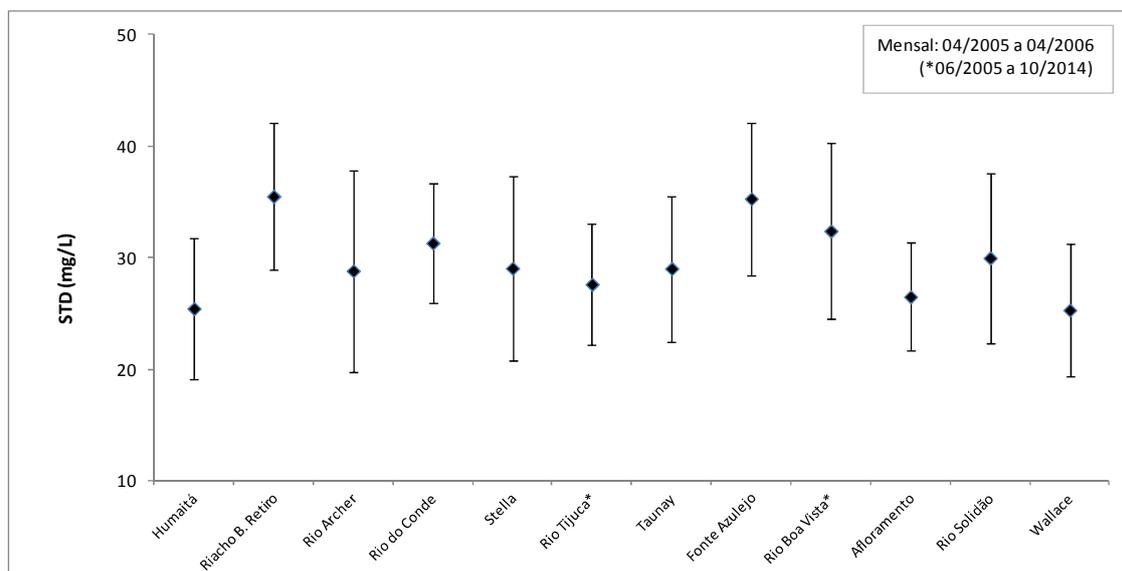


Figura 6.20: Estatística descritiva para sólidos totais dissolvidos

Nos demais pontos amostrais em que foi possível obter uma correlação, constatou-se que na ausência de erosão, os valores de condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos indicavam valores mais altos para o período seco em relação ao período de chuvas, isto pode ser explicado pela menor disponibilidade hídrica nos canais fluviais na estiagem, permitindo que haja menor solubilização dos íons e maior disponibilidade dos mesmos. Esta mesma resposta foi obtida por Cabaleiro (2010) em sua investigação geoquímica na sub-bacia do córrego Sarandi, localizada em Minas Gerais.

6.3.2) pH e Oxigênio dissolvido

Conforme Salomons (1995), Kabata-Pendias (1995) e Borma *et al.* (1996), o pH atua como agente controlador da precipitação dos metais, já que a concentração de H^+ atua no ataque dos minerais das rochas, dos solos e dos sedimentos, favorecendo a lixiviação e a solubilização dos seus constituintes. Essas águas que se precipitam em ambientes tropicais mostram-se moderadamente ácidas, com o pH variando entre 4 e 6 e por conseguinte, com teor mais baixo de STD (REBOUÇAS, 2002).

Na pesquisa de Araujo (2013) desenvolvida no espaço rural do município de Teresópolis foi demonstrado que o pH atingia valores próximos à neutralidade, sendo levemente ácidos. Essa constatação ocorre devido à presença de classes de solos distróficos;

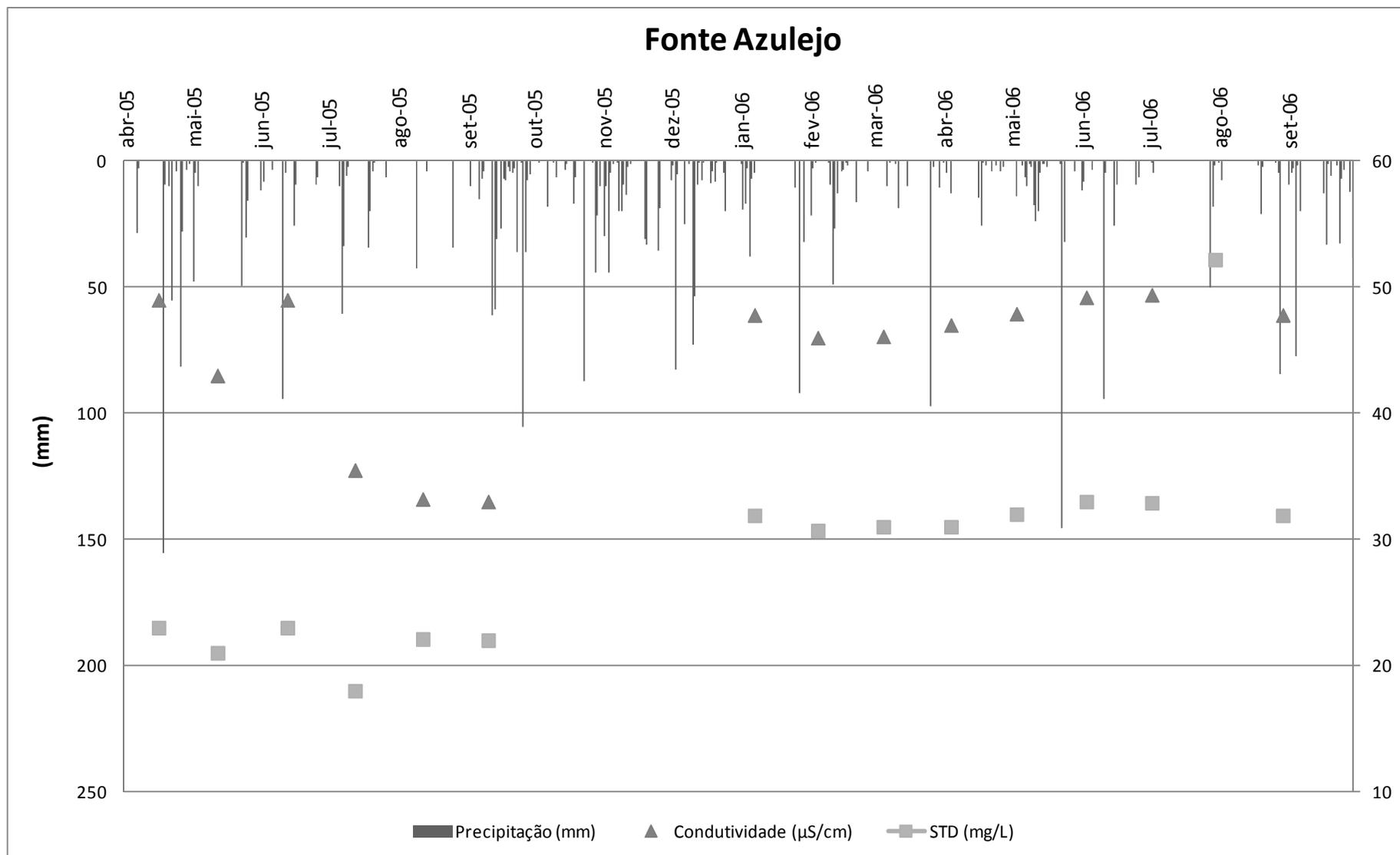


Figura 6.21: Correlação entre CE, STD e precipitação na estação Fonte Azulejo

à vegetação, que através da decomposição produz ácidos húmicos; às atividades antrópicas, que se utilizam do uso acentuado de insumos químicos; e a estação seca, em função do canal estar no nível de base e a química ter menor poder de diluição na água.

A resolução Conama 357/2005 estabelece que os valores de pH para as águas doces de classe I não ultrapasse o limite de 6-9. No entanto, as estações Rio do Conde e Afloramento rochoso apresentaram um pH abaixo de 6, caracterizando essas águas como ácidas (figura 6.22).

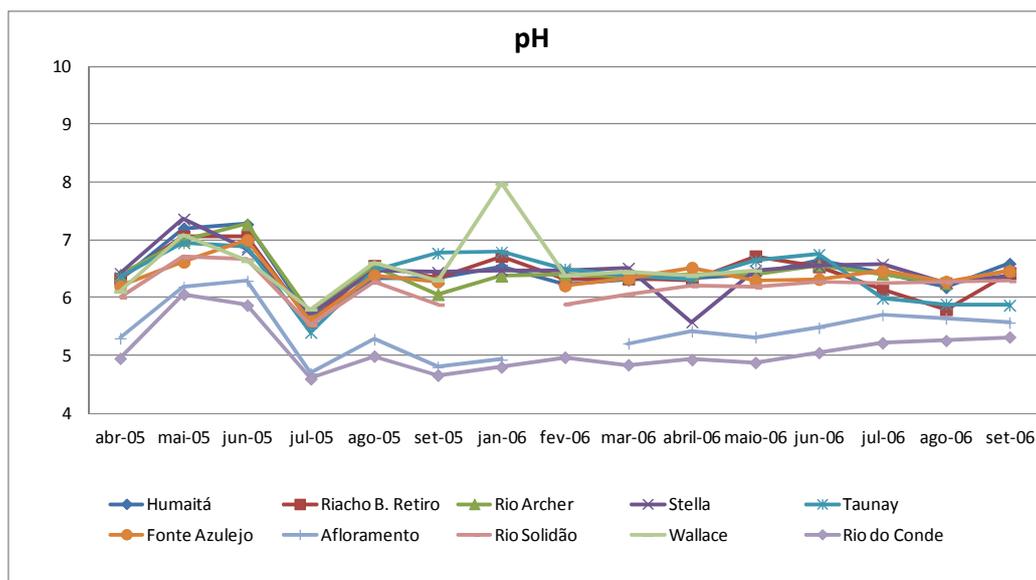


Figura 6.22: Variação espaço-temporal de pH nas estações amostrais

Considera-se que na estação Afloramento Rochoso, em função da exfiltração da água sair diretamente da rocha, apresentando ótimo estado de conservação e sem interferência de atividades antrópicas, poderia atribuir a mesma como estação *background*, ou seja, aquela em que os valores são tomados como referência. No entanto, no que tange a este ponto amostral, observou-se que a água mostrou-se predominantemente ácida (figura 6.23).

O estudo de Leite (1998) desenvolvido na Floresta da Tijuca - do qual tratava sobre as variações químicas das águas de chuva nos compartimentos vegetacionais e no topo dos solos - verificou a presença de dias em que a água da precipitação apresentava pH ácido, variando de 3,8 a 4,8. Deste modo, possivelmente a acidez hídrica deste ponto amostral pode estar relacionada com a água da precipitação.

Algumas pesquisas como a de Cunha e Pascoaloto (2006), Pinto *et al* (2009), Alves *et al* (2012) demonstram a associação do pH ácido da água com grande quantidade de matéria orgânica disponível no ambiente, pois a decomposição da vegetação gera ácidos húmicos e

fúlvicos. Este fator também pode afetar a acidez da água já que a área é compreendida por 96% de floresta secundária tardia (fig 6.23).

Relacionou-se também o pH ácido da água ao compartimento litológico, assim, de acordo com a figura 6.23 identificou-se que esta unidade apresentava a seguinte composição: 55% de gnaiss facoidal, 40% de biotita gnaiss e 5% de granito favela.

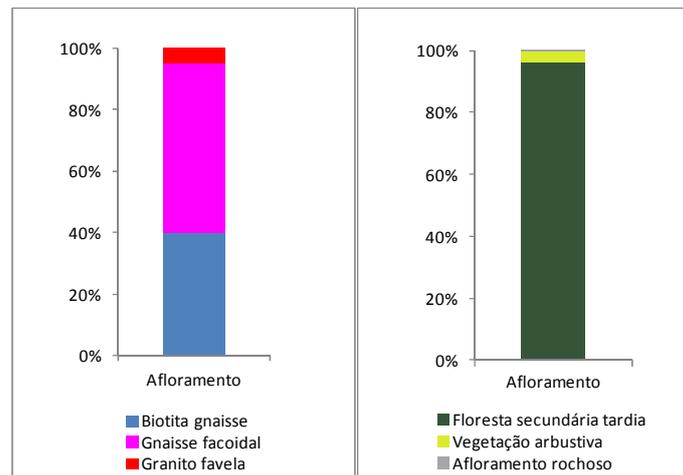


Figura 6.23: Composição geológica e do uso do solo e cobertura vegetal da estação Afloramento rochoso

Como já retratado, as unidades Biotita gnaiss e Gnaiss Facoidal são compostas de feldspato, biotita e quartzo (em proporções variadas). Já o Granito Favela é denominado por Pires *et al* (1982) como um granito antigo e por Alves (2014, p. 36) como um “granito de granulação grossa composto de quartzo, feldspato, biotita, turmalina, pirita e alanita, apresentando textura equigranular”. Verifica-se que na composição química das rochas retratadas há presença de alumínio (biotita e turmalina) e ferro (turmalina) conferindo acidez à água.

Em se tratando deste ponto amostral específico, verifica-se que o tempo de residência da água na rocha é muito pequeno, neste sentido, o fator geológico pode interferir no pH da água, mas não ocorre como um processo preponderante.

Em se tratando do Rio do Conde (canal fluvial que passa próximo a Capela Mayrink), acredita-se que os baixos valores de pH alcançados estão atrelados a composição geológica, mas como fator principal tem-se a decomposição da matéria orgânica nas águas superficiais, que gera os ácidos disponíveis na água.

Com relação às estações amostrais Rio Tijuca e Rio Boa Vista, não foi encontrado nenhuma alteração no pH, ambos os pontos apresentaram o pH entre 6 – 8, estando de acordo com o que o Conama determina. Os valores obtidos de pH não obtiveram grandes oscilações

nestas estações, podendo-se observar isto na análise do desvio padrão, em que os resultados se encontraram muito próximos à média (ver fig. 6.24). Com exceção da estação Wallace (este ponto de monitoramento possui uma quantidade menor de amostras frente às outras estações, determinando assim, o aumento do desvio padrão), todas as outras também apresentaram o mesmo comportamento.

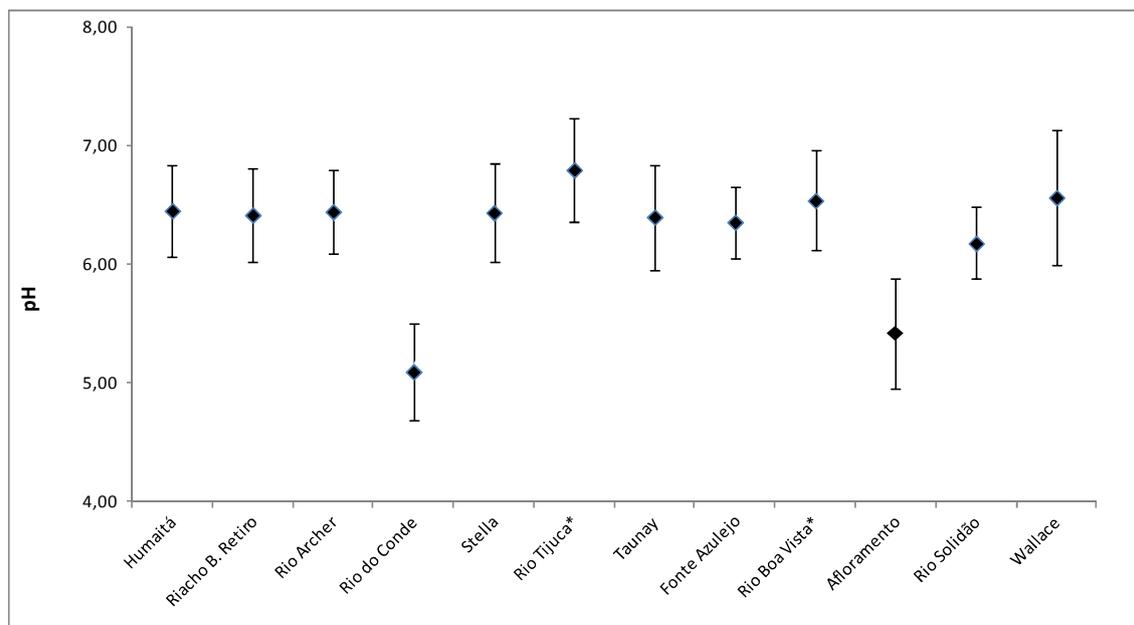


Figura 6.24: Desvio padrão para pH

Observou-se que a temperatura da água tem uma estreita relação com o pH, nos dias em que se obteve o valor de pH mais reduzido, constatou-se que a temperatura também era a mais baixa em relação aos outros meses de monitoramento. A menor temperatura registrada durante todo o período e em todos os pontos de monitoramento foi no rio Solidão em que foi registrado no mês de fev/06 10°C, sob o pH de 5,89.

O oxigênio dissolvido (OD) na água origina-se a partir da dissolução do oxigênio atmosférico e varia conforme a altitude e temperatura. Ao nível do mar, quando a temperatura é de 20°C a concentração de saturação do OD é de 9,2 mg/L (VON SPERLING, 2005). Além disto, o aumento da concentração de OD no canal hídrico está atrelado às altas velocidades de fluxos e condições de turbulência em meio aquático, o que gera aeração por transferência e difusão do oxigênio atmosférico na água (ARCOVA & CICCIO, 1999).

A resolução Conama 357/05 estabelece que o OD não seja inferior a 6 mg/L de O₂, dentre os dados repassados pelo Instituto Terra Azul todas as estações de amostras de coleta de água e em todos os meses os valores obtidos eram equivalentes a >9 mg/L, logo, diante destes resultados não possível realizar um gráfico que mostrasse essa oscilação, uma vez que

os dados não variavam. No entanto, estas mensurações apontaram para uma boa oxigenação da água, em razão a turbulência provocada pelas cachoeiras.

Já nos dados obtidos pela CEDAE, das estações rio Tijuca e rio Boa Vista, observam-se uma série histórica mais longa, porém realizada uma vez a cada semestre. Os resultados também mostram uma excelente oxigenação da água (figura 6.25). Nesse sentido, esses valores elevados de OD indicam boa qualidade da água - com relação a este parâmetro investigado, concluindo que há ausência de esgotos domésticos nestes pontos amostrais e que o relevo montanhoso, ao gerar maior velocidade do fluxo d'água, contribui para a depuração e oxigenação da mesma.

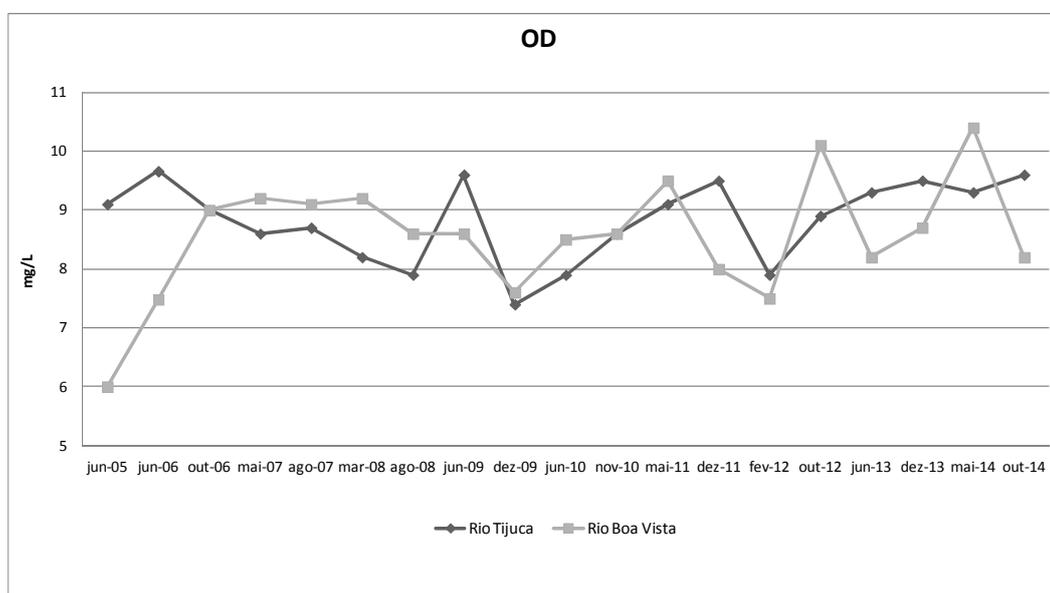


Figura 6.25: Variação espaço-temporal de OD nas estações amostrais

Com relação ao comportamento das variáveis frente às variações sazonais, buscou-se compreender a princípio as respostas do oxigênio dissolvido. Devido às mensurações deste parâmetro apresentar o mesmo resultado (dados fornecidos pelo Terra Azul), não foi possível estabelecer uma relação do parâmetros em relação as mudanças de estações (fig. 6.26), todavia, na série histórica fornecida pelo CEDAE isto foi possível.

No que se refere ao pH, constatou-se que nos períodos mais secos, os valores deste elemento se mostraram mais elevados, isto em função de uma menor disponibilidade hídrica, contribuindo para que houvesse maior concentração dos íons e para que estes se diluíssem menos. Como demonstrado nas estações Humaitá (fig. 6.26) e abarcando uma temporalidade maior na estação rio Tijuca (fig. 6. 27).

Desta forma, constatou-se que o oxigênio dissolvido nas duas estações investigadas, principalmente no rio Tijuca (fig. 6.27), que os períodos secos ou de menor disponibilidade hídrica apresentaram maiores concentrações de OD em relação aos chuvosos, indicando que o aumento do volume de água reduz sua concentração. Estas mesmas respostas do OD foram encontradas em outros estudos, como apontado por Haddad (2007), Baggio (2008), Araujo (2013) e Pieroni (2015).

6.3.3) Fosfato, nitrato e nitrito

O fósforo pode ser encontrado no meio ambiente sob a forma fosfato orgânico (como parte da matéria viva ou morta orgânica), de ortofosfatos (ou fosfato inorgânico dissolvido) ou fosfatos na água. A sua ocorrência natural se dá em razão da dissolução dos componentes do solo ou da rocha (apatita) e da decomposição da matéria orgânica.

De acordo com Gonçalves (2009) e outros autores sua origem antrópica está atrelada as descargas de esgotos sanitários, a partir da utilização doméstica de detergentes superfosfatados, assim como, da matéria fecal que possui proteínas. As indústrias de fertilizantes, laticínios e químicos também geram efluentes apresentando grandes quantidades de fósforos. Nesse sentido, as águas que são drenadas em áreas urbanas e agrícolas para os mananciais trazem excessiva presença de fósforo. Conforme Perk (2006) o fósforo tem uma grande afinidade com os minerais que estão presentes no ambiente, caracterizando-se como um elemento pouco móvel e por isso não está sujeito a perdas por lixiviação. Este fenômeno é mais recorrente em áreas agrícolas, devido ao uso de fertilizantes e pela ocorrência de processos erosivos provocados pela erosão que gera perdas das partículas do solo como silte e argila, que por sua vez, possuem altas concentrações de nutrientes, como o fósforo.

Na pesquisa de Gomes (2005) realizada também na Floresta da Tijuca nos anos de 2003 e 2004, os valores de fósforo total alcançados estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, ou seja, abaixo de 0,1 mg/L P. Todavia, no estudo atual observou-se que a maioria das amostras apresentaram resultados abaixo de 0,02 mg/L P, com exceção do mês de setembro de 2005, no ponto rio Solidão, em que a água apresentou como resposta a

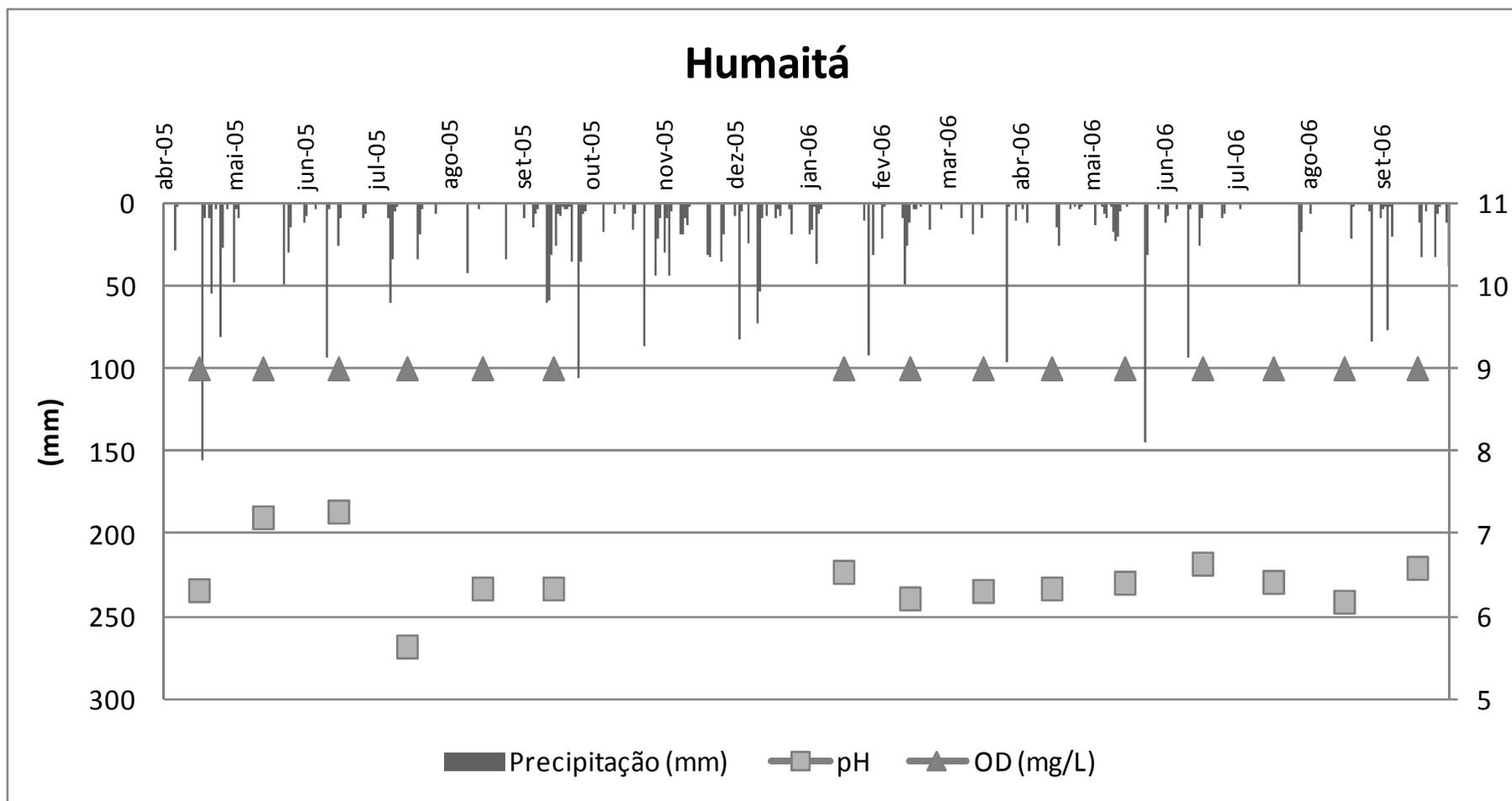


Figura 6.26: Correlação de pH, OD e precipitação na estação Humaitá

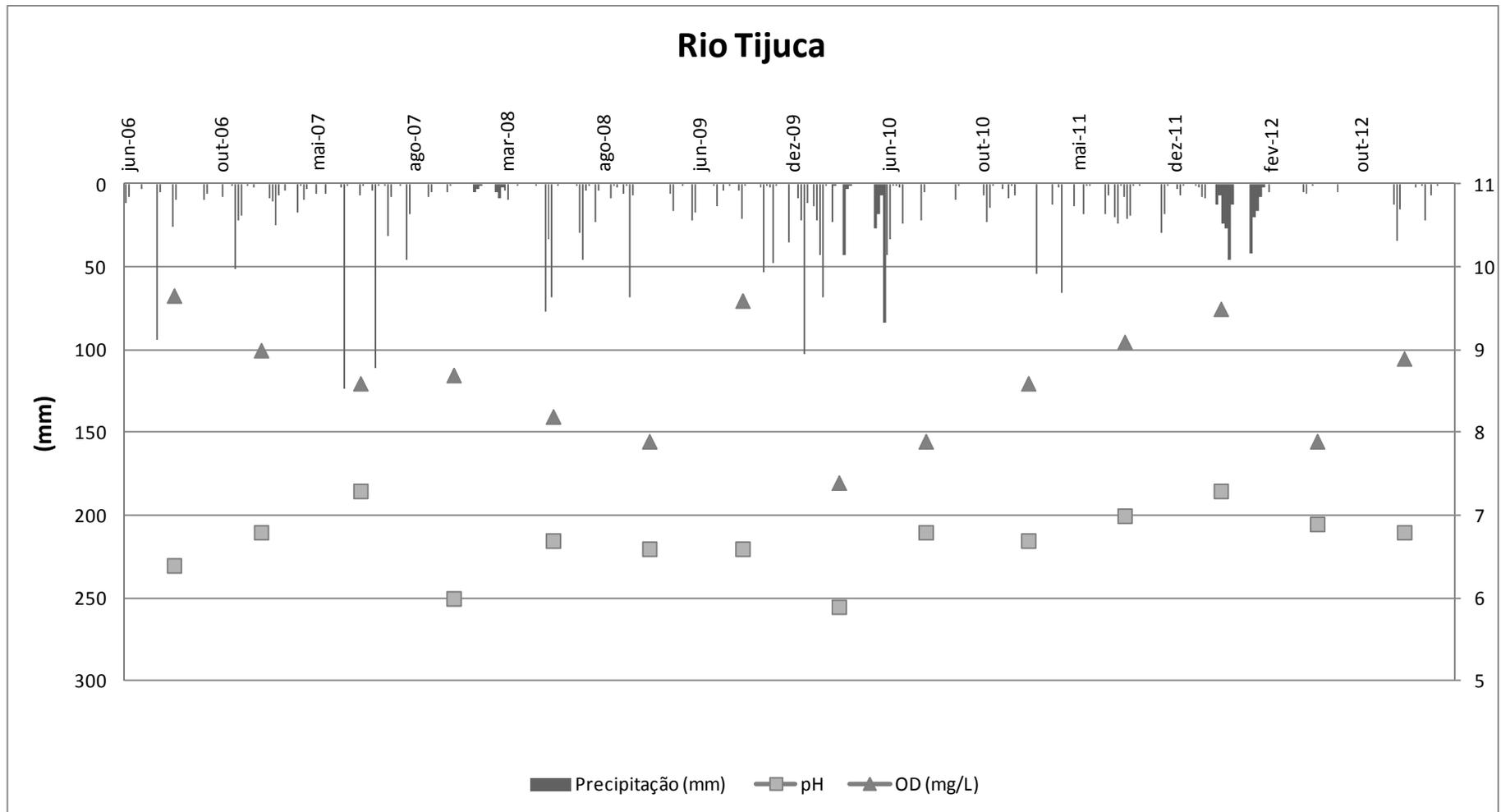


Figura 6.27: Correlação de pH, OD e precipitação na estação rio Tijuca

este parâmetro um valor de 0,33 mg/L (vide figura 6.28). Nas estações com a série temporal mais longa este parâmetro químico não foi investigado.

A princípio, descartou-se o uso do solo como fator contribuinte para a maior concentração de fósforo (P), uma vez que diante dos resultados do cruzamento área de contribuição e uso do solo, foi demonstrado que a área possui 100% de floresta secundária tardia. Nesse sentido, desconsiderou-se também a erosão do solo, uma vez que a bacia de estudo em questão não está sendo submetida ao manejo agrícola. Poderia até ser levado em consideração os processos ocorridos no passado como as plantações de café, contudo o valor mais alto mostrou-se pontual, não apresentando o mesmo padrão em todas as áreas monitoradas.

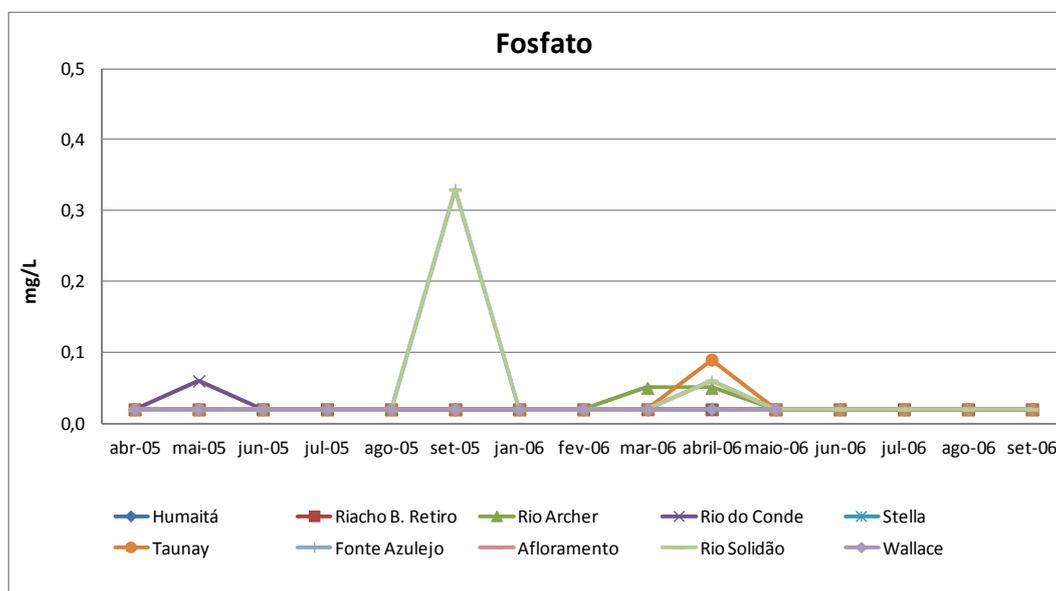


Figura 6.28: Variação de fosfato nos pontos amostrais

Bertol *et al* (2004) retratam que a inexistência de técnicas conservacionistas de manejo do solo juntamente com relevos com altas inclinações, refletem em perdas de P e K, e consequentemente no empobrecimento do solo e contaminação dos locais de deposição. Em áreas florestais de elevada declividade, as partículas do solo erodido tendem a se depositar nas partes mais baixas do relevo e gradualmente serem inseridas na rede de canais, causando contaminação, assoreamento e eutrofização dos corpos hídricos. Nesse sentido, pode-se atrelar a presença de altas concentrações de fósforos nestes pontos devido a este transporte dos materiais, à montante, estimulados também pela precipitação.

Ao realizar a análise do gráfico de correlação entre chuva e fosfato (vide figura 6.29), foi observado que em setembro de 2005 houve maior intensidade pluvial distribuída ao longo de todo o mês, corroborando para a hipótese de que há carreamento das partículas de solo

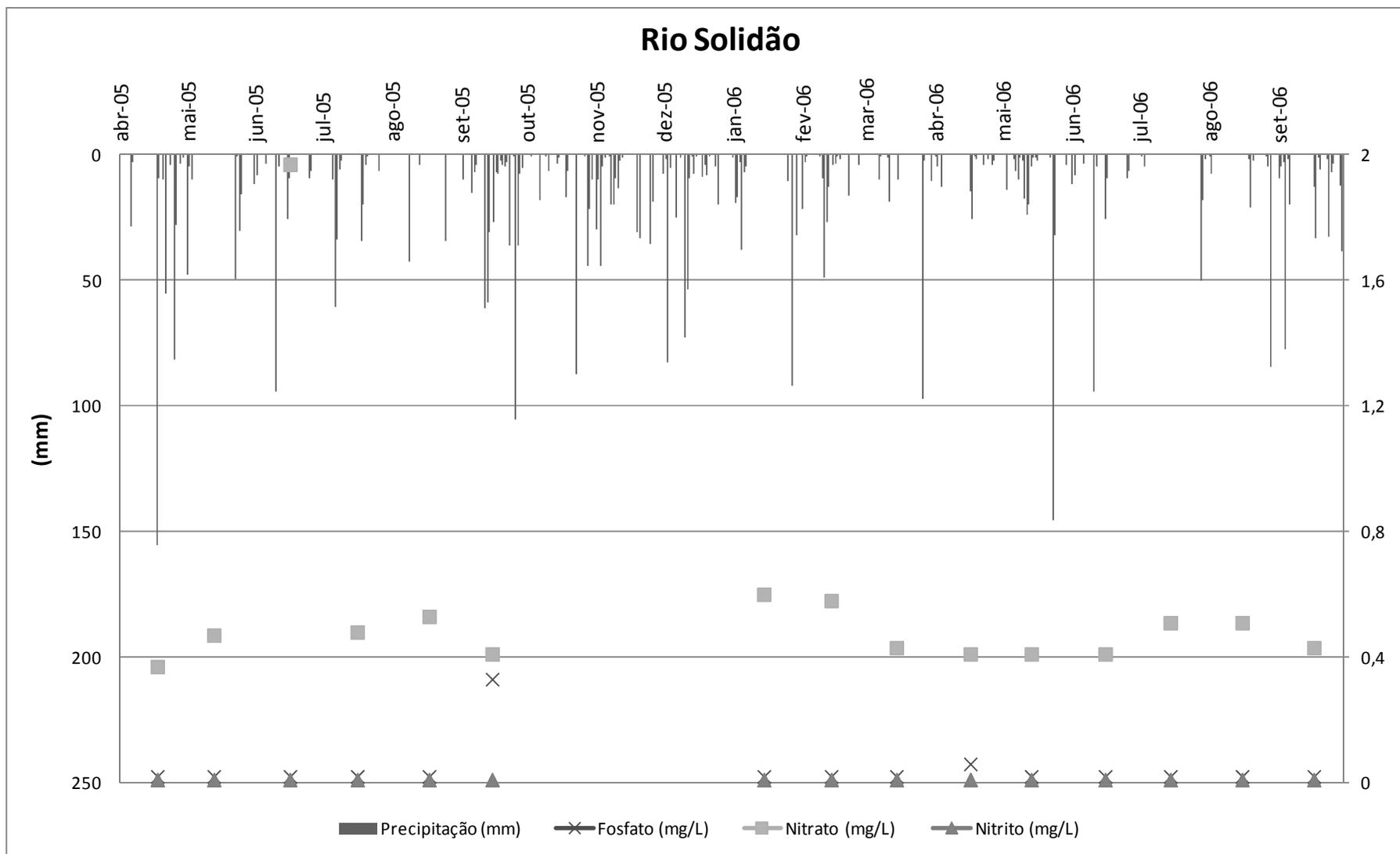


Figura 6.29: Correlação de pH, OD e precipitação na estação rio Solidão

contendo fósforo em função também da chuva. Kronvang (1990) demonstrou, em áreas agrícolas, que as maiores concentrações de sedimentos contendo fósforo são transportadas durante as chuvas de grande intensidade.

A literatura também traz contribuições a respeito do tema e retrata que o transporte e deposição da serrapilheira está condicionado pela topografia. Como demonstrado pelos autores Clevelário Júnior (1988) e Miranda (2013) em estudos realizados no PARNA-Tijuca. O primeiro autor identificou que havia diferenças entre as taxas de decomposição da serrapilheira entre o topo, a encosta e o fundo de vale em um perfil topográfico, constatando que as taxas mais elevadas foram encontradas no fundo do vale, intermediárias na encosta e mais baixas no topo.

Já Miranda (2013), a partir de experimentos, inferiu que o deslocamento encosta abaixo da serrapilheira é significativamente maior nas áreas de elevada declividade, visto que estes detritos encontram dificuldades de deposição nas partes mais íngremes da encosta, e por sua vez, há menores estoques deste material nestas porções. Isto posto, as folhas ricas em fósforo, sendo transportadas e depositadas nas áreas mais baixas da encosta tendem a se decompor e estando em contato com o compartimento aquático, promovem a ocorrência deste elemento em águas naturais.

Diante destas considerações, pode-se atrelar este resultado mais elevado e pontual, as questões referentes à precipitação, assim como, à topografia, visto que a estação de monitoramento do rio Solidão situa-se em um vale (Vale Solidão). Nesse sentido, diante desta resposta, o desvio padrão obteve grande variação somente neste ponto, não apresentando o mesmo comportamento nas outras áreas de coleta de água.

Os mecanismos de disseminação de fósforo nas águas já foram retratados. Não obstante, cabe destacar o papel das matas ciliares e da própria vegetação florestal que contribuem fortemente para a retenção das partículas de argila contendo o fósforo e reduzem o transporte dos nutrientes dissolvidos. Tal abordagem é retratada por Muscutt (1993), que faz uma extensa revisão de literatura apontando o papel destas matas atuando como “zona tampão” e de remoção de P do ambiente.

No que se refere ao nitrato e nitrito, sabe-se que os mesmos pertencem a séries do nitrogênio encontradas na água, juntamente com o nitrogênio orgânico e amoniacal. Cabeleiro (2010) salienta que modificações na qualidade da água atreladas ao nitrogênio em suas formas reduzidas - nitrogênio orgânico e amoniacal - é um indicador de que a poluição está próxima. Em se tratando da ocorrência de nitrato e nitrito, forma oxidada do nitrogênio, obtém-se uma resposta oposta, isto é, as fontes contaminantes ou de poluição estão distantes

do ponto amostral de coleta de água. E, ainda, no que tange às zonas de autodepuração natural dos rios, que representam os estágios sofridos pelo corpo hídrico para retornar às condições ecológicas iniciais, a presença de nitrito denota zona de recuperação e a de nitrato zona de águas limpas.

O nitrato tem o valor máximo permitido de 10 mg/L em águas doces classe I, conforme resolução Conama 357/2005. Neste estudo, durante quase todo o período e estações amostrais os valores variaram em torno de 0 – 2 mg/L, com exceção do mês de junho/2005, em que foram alcançados valores elevados em quase as áreas de coleta de água, com destaque para as estações Rio do Conde, Bom Retiro e Afloramento, que exibiram valores que variaram de 4 – 6,38 mg/L (representado pelo gráfico da figura 6.30).

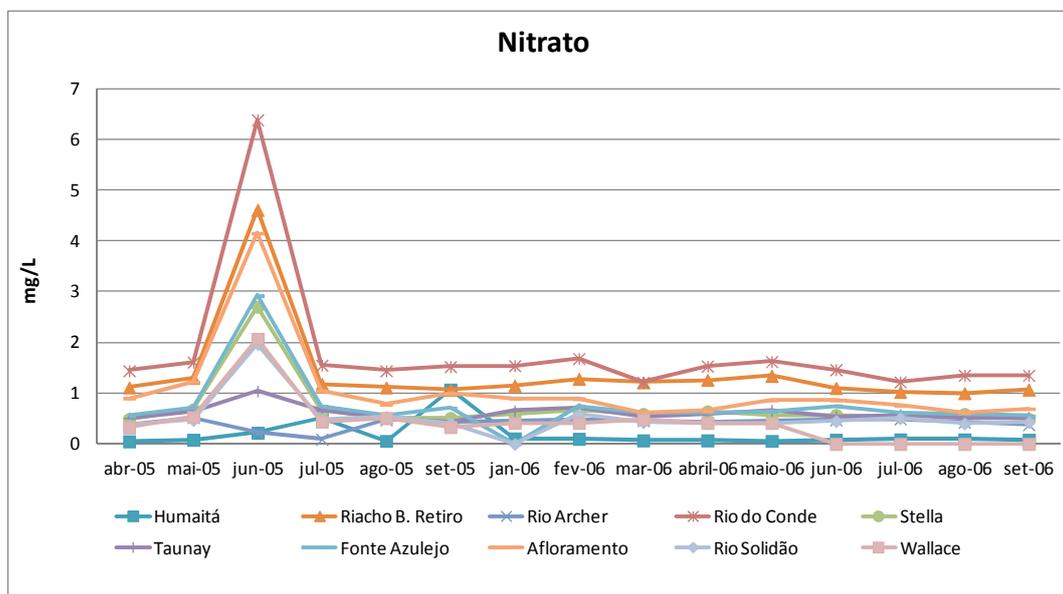


Figura 6.30: Variação de nitrato nas estações de coleta de água

Diversos estudos associam a presença de nitrato e nitrito na água com a vegetação ciliar. Marmontel e Rodrigues (2015) constataram que a ausência ou somente uma faixa da mata ciliar em estado degradado colabora para a elevação dos valores de nitrato e nitrito. O uso de fertilizantes nitrogenados utilizados próximos às nascentes obviamente também contribuiu para a obtenção de mensurações mais elevadas. Nesse sentido, Crepalli (2007) também identificou quantidades elevadas de nitrato em razão de práticas agrícolas e exposição do solo, com cobertura vegetal de baixa efetividade. Todavia, Castro e Mendonça (2004) verificaram que havia melhorias na qualidade da água, no que tange aos parâmetros nitrato e nitrito, em função dos pontos amostrais situarem-se em bacias com cobertura vegetal densa e em fase de regeneração avançada.

No PARNA-Tijuca as três estações monitoradas, acima destacadas (Rio do Conde, Riacho Bom Retiro e Afloramento), apresentaram quase que predominantemente áreas florestais em estágio secundário tardio, mas as estações Afloramento e Rio do Conde dispõem de algumas áreas de vegetação arbustiva. Já o Rio do Conde foi a única que é composta também por áreas edificadas, segundo a figura 6.31. Desta forma, pode-se afirmar que em decorrência do uso do solo ser predominantemente florestal, a vegetação, assim como as matas ciliares protegem os cursos d'água mais efetivamente, contribuindo para que as partículas lixiviadas contendo nitrato atinjam os canais fluviais.

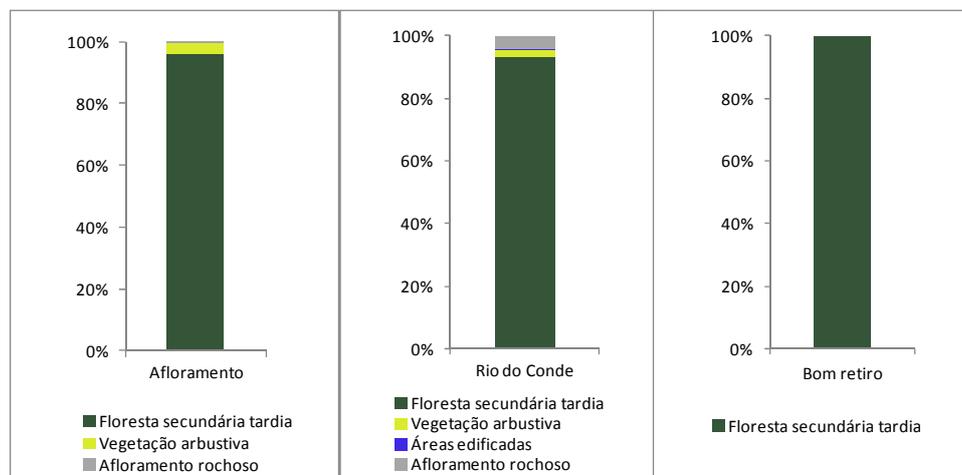


Fig. 6.31: Uso do solo e cobertura vegetal das estações Afloramento rochoso, Rio do Conde e Riacho Bom Retiro

O nitrato é fracamente adsorvido no solo e, nesse sentido, percola mais facilmente pelo perfil do solo. Segundo Fritzsos (1999), o nitrogênio foi apontado como principal poluente devido à sua mobilidade no solo, solubilidade em ambiente aquático na forma de nitrato e alto poder contaminante na qualidade da água. Todavia, Bhumbra (2001) enfatiza que a contaminação por nitrato na água ocorre em menor intensidade em solos argilosos, nos quais a água move-se mais lentamente e em pequenas distâncias.

Muchovej & Recheigl (1995) em estudos realizados em solos latossólicos e podzólicos com argila de baixa atividade (nas Ilhas Maurício), constataram que havia perdas de nitrato em decorrência da percolação e este processo se potencializava com a intensidade da precipitação, todavia esta perda decrescia a partir do aumento do teor de argila no solo. Rosas (1991) aponta que os solos do Parna-Tijuca, que em geral são os latossolos, apresentam maior conteúdo de argila no horizonte B. Nesse contexto, o solo argiloso, do ponto amostral em questão, favorece a retenção do nitrato no solo, contudo isto não significa

que não há mobilidade deste parâmetro, se o solo apresentasse características mais arenosas ou siltosas a mobilização do nitrato possivelmente seria mais elevada.

Os mesmos autores supracitados afirmam que as perdas deste parâmetro ocorrem em maiores proporções quando os solos são mais bem drenados em relação aos solos com drenagem deficiente. Rosas (1991) acrescenta que os solos da floresta possuem condições favoráveis de aeração para o desenvolvimento dos vegetais e são também permeáveis, logo, a lixiviação deste elemento é feita através das perdas das partículas de solo, em função desta particularidade. Assim, a boa drenagem do solo favorece a mobilidade do nitrato, que pode atingir os corpos hídricos em questão a partir da precipitação.

Ao analisar o gráfico da figura 6.32 na estação Rio do Conde, em que é demonstrado a correlação entre a chuva e o nitrato observa-se que no mês de junho de 2005 não ocorreu uma distribuição homogênea e regular durante todo o mês de episódios de chuva, com a incidência de vários dias sem precipitação. No entanto, no dia 11 de junho houve a ocorrência de um evento de maior magnitude, sendo registrado 94,1 mm de chuva. Embora o dia exato em que foi feita a coleta da água para a análise da qualidade não tenha sido informado pela a ONG Terra Azul, é possível que após este episódio de chuva, o nitrato do solo atingiu os canais hídricos contribuindo para a elevada disponibilidade deste na água e em todas as estações amostrais.

Especialmente, a Estação Rio Tijuca está localizada próxima às estações Stella e Taunay. Ambos os órgãos que cederam os dados realizaram a coleta de água no mês de junho de 2005, todavia, nas estações Stella e Taunay houve valores mais altos em relação aos outros períodos, como 2,7 mg/L e 1,04 mg/L, respectivamente. Diferentemente das respostas apresentadas nas estações do Terra Azul, o ponto amostral Rio Tijuca em junho de 2005 exibiu resultado diferenciado: 0,5 mg/L, conforme apontado na figura 6.33. Isto reforça as conclusões obtidas, ou seja, no dia em que a coleta de água foi realizada na Fonte Stella e na Fonte Taunay provavelmente houve um evento de precipitação de maior magnitude, fazendo com que o nitrato chegasse aos canais com maior intensidade. Neste mês mencionado, a CEDAE não informou o dia em que foi feita a coleta de água.

Em se tratando da série histórica mais longa, observa-se que em junho de 2006 e junho de 2009 ocorreram maiores disseminações do nitrato nas águas superficiais no rio Boa Vista. Recorrendo-se aos índices pluviométricos, notou-se que no mês de junho/2006 a precipitação máxima diária foi de 94,1 mm e em junho/2009 foi de 52,9 mm, estes resultados demonstraram que no primeiro caso a precipitação pode ter influenciado na qualidade da água e na dispersão do nitrato, mas no segundo ela pode não ter relação entre o elevado nível

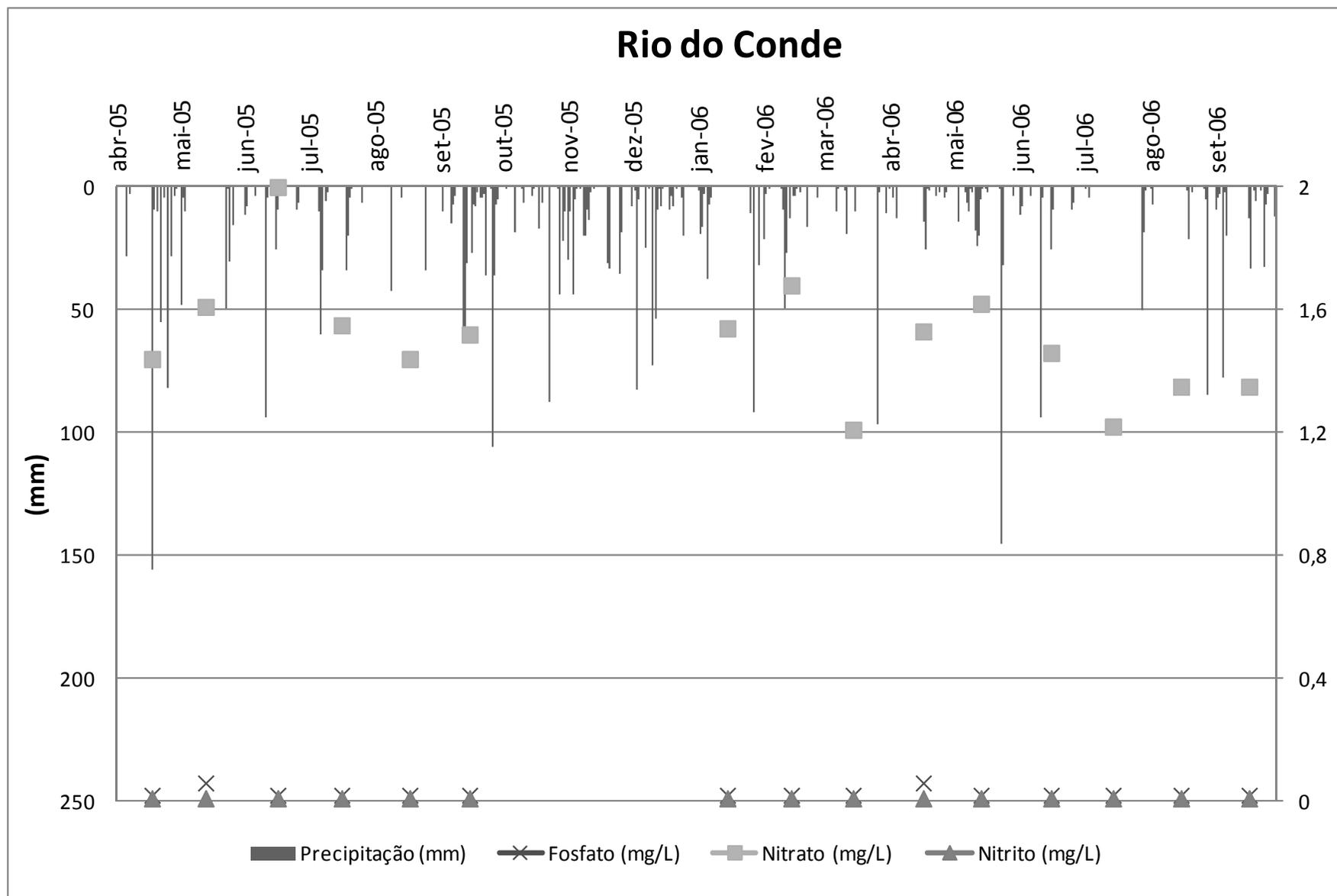


Fig. 6.32: Precipitação comparada ao fosfato, nitrato e nitrito

de concentração do poluente, tendo em vista que, em comparação com outros meses a série histórica apresentou elevados índices de chuva, mas não ocorreu o mesmo para o nitrato.

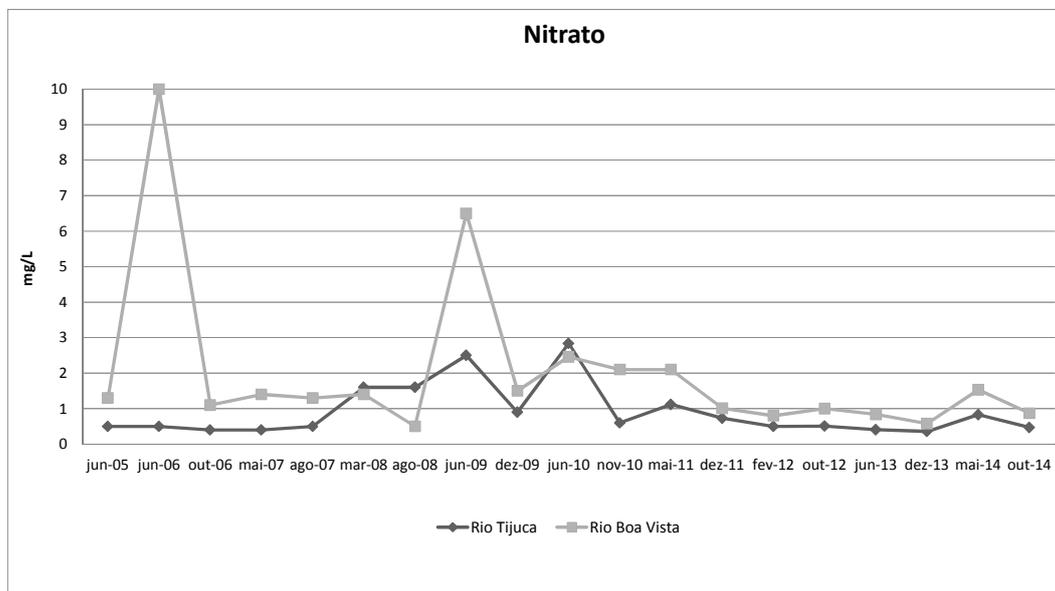


Fig. 6.33: Variação de nitrato nas estações de coleta de água

Posteriormente, procurou-se relacionar estes resultados ao uso do solo, foi identificado que 69% da área estabelecida pelo polígono equivale à floresta secundária tardia e 31% é composta por áreas edificadas (de acordo com a figura 6.34). Dentre as outras delimitações deste estudo, a estação rio Boa Vista é aquela que possui maiores índices de edificações.

Donner *et al* (2002) elaborou um modelo a fim de simular o deslocamento do nitrato no sistema do rio Mississippi entre os anos de 1966 e 1994 e os resultados associaram a elevação da poluição por nitrato ao aumento do escoamento superficial em áreas urbanas. Dunn *et al* (2012) também elaborou um modelo em escala nacional para a Escócia e concluiu que o aumento da poluição por nitrato é causado principalmente por mudanças no uso da terra, do que por impactos diretos das mudanças climáticas no funcionamento hidrológico.

A partir das discussões apontadas, pode-se atrelar o elevado índice de nitrato ao lançamento de efluentes líquidos e detritos sólidos nesta parte da bacia.

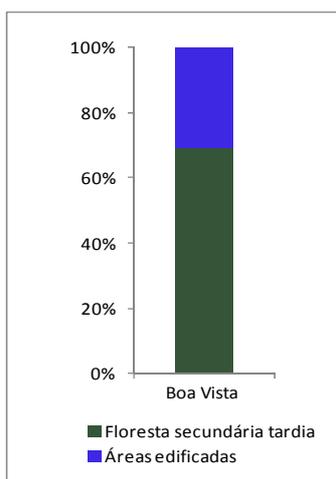


Fig. 6.34: Uso do solo e cobertura vegetal na estação Rio Boa Vista

Em relação ao desvio padrão, observou-se que o desvio padrão sofreu pouca variação nas estações, todavia, no ponto de monitoramento Rio Boa Vista a média foi de 2,02 e o DP foi de 2,33, indicando variações diante do valor central, ou seja, apresentando um valor maior que a média, em função também dos eventos já comentados.

No que tange ao nitrito, Gomes (2005) salienta que esta forma química do nitrogênio normalmente é encontrada em quantidades menores nas águas superficiais, pois o mesmo torna-se instável na presença de oxigênio e ainda pode ser absorvido pelas plantas como fonte de nitrogênio. Nesse sentido, em se tratando da Floresta da Tijuca como área de estudo, em que as águas são bastante oxigenadas e a vegetação é abundante, os teores de nitrito obviamente serão menores.

A legislação estabelece que o valor máximo permitido para o elemento em águas superficiais deva ser de 1 mg/L. Em seu estudo sobre qualidade das águas realizado na mesma área de estudo, Gomes (2005) mensurou resultados menores que 0,05 mg/L. Na presente pesquisa verifica-se através da tabela 6.1 que este elemento não sofreu nenhuma variação espaço-temporal, apresentando como mensuração em todos os meses o valor de 0,01 mg/L, ao longo de todo o período de monitoramento, e por sua vez, o DP foi nulo em todas as estações.

Tabela 6.1: Resultados do nitrito na água e estatística descritiva

Nitrito (mg/L)	Humaitá	Riacho B. Retiro	Rio Archer	Rio do Conde	Stella	Taunay	Fonte Azulejo	Afloramento	Rio Solidão	Wallace
Abril/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maior/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Junho/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Julho/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Agosto/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Setembro/05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Janeiro/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fevereiro/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Março/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Abril/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maior/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Junho/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Julho/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Agosto/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Setembro/06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Média	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Desvio padrão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7) CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a bacia do rio Cachoeira apresenta-se em um bom estado de preservação e de acordo com a legislação Conama as águas superficiais podem ser inseridas em Classe I. No entanto, devido às informações do Instituto Terra Azul terem sido feitas há alguns anos atrás, recomenda-se que a administração do parque implante um sistema de monitoramento de água a fim de compreender a situação atual desses corpos hídricos e acompanhe o estado de conservação dos mesmos. Os dados da CEDAE, apesar de refletirem uma condição vigente, são coletados com uma periodicidade semestral sem o estabelecimento dos meses pontuais durante os consecutivos anos, e isto, não favorece a análise adequada de alguns poluentes e as alterações provocadas pela sazonalidade.

Além do estabelecimento de um programa de monitoramento, identificou-se com este estudo a necessidade de investigação dos parâmetros inorgânicos na água, já que estes influenciam no comportamento de outros elementos físico-químicos. Nesse sentido, sem a investigação das características químicas, a análise se torna limitada e pode estar ocorrendo alguma interferência que é excluída da conclusão devido ao seu desconhecimento. O entendimento, por exemplo, do comportamento do pH ácido por estar atrelado também à alguns elementos químicos, necessitando, portanto, de mais estudos.

Destaca-se a importância das investigações integradas nos estudos de qualidade de água, já que estes sistemas possuem uma organização complexa de relações uns com os outros. Constatou-se que as mínimas intervenções antrópicas e outras interferências de ordem natural nos arranjos físicos provocaram alterações nos resultados de água, sendo estas mais acentuadas fora dos limites do parque. Os resultados de nitrato mostraram-se mais elevados na estação Rio do Conde (localizada dentro dos limites do PARNA-Tijuca), em que fazem parte do uso do solo apenas três residências e a sede administrativa. A proximidade física destes estabelecimentos com a água contribuiu para as alterações das condições normais e equilíbrio do sistema. No que condiz à estação Alto da Boa Vista - inserida fora dos limites da UC -, constatou-se que a qualidade da água em relação ao nitrato declinou ainda mais, uma vez que há lançamentos de efluentes líquidos e resíduos sólidos neste canal. Nesse sentido, constata-se a necessidade da proteção deste recurso, que se mostra frágil frente às alterações no uso do solo, assim como a preservação da floresta, que garante a conservação dos recursos naturais com mais eficiência.

Apesar das fragilidades mencionadas afetarem o sistema, as partes do mesmo encontram-se bem ajustadas internamente e equilibradas entre si, uma vez que as respostas de qualidade de água mostraram-se em ótimo estado e os resultados das estações amostrais apresentaram-se bastante parecidos. Isso pode ser constatado a partir dos excelentes resultados de oxigênio dissolvido obtidos devido ao fluxo mais turbulento da água provocado relevo montanhoso, assim como, aos resultados de CE e STD que foram alcançados devido ao bom estado de conservação da cobertura vegetal.

O método utilizado que estabeleceu as áreas de contribuição de cada estação amostral foi essencial para o desenvolvimento da pesquisa, já que a partir desta determinação foi possível também delimitar os outros compartimentos físicos que influenciam nos resultados de qualidade de água. Nesse sentido, esta metodologia mostrou-se eficiente nas investigações em recursos hídricos e sendo um método original, já que não foi encontrada nas pesquisas de qualidade da água a aplicação do mesmo.

Sabe-se que os canais fluviais, predominantemente, apresentam-se com excessivas cargas poluentes e o Rio de Janeiro, por ser uma região metropolitana, também se enquadra nesta situação. A Floresta da Tijuca, inserida dentro desta mesma cidade, consegue promover um papel oposto, produzindo e distribuindo, através da sua rede de drenagem, água de excelente qualidade para a população, prestando desta forma, diversos serviços ambientais para a cidade. Logo, contata-se a necessidade de contínua preservação desta unidade de conservação que desempenha funções vitais para o Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. de A. A cidade, a montanha e a floresta. In: _____. (org.) **Natureza e sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 1992.

_____. Sobre a Memória das Cidades. In: **Revista Território**, nº 4, Ano III, 1998.

_____. Evolução urbana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, 2006.

AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e Geoestatística**. Porto Alegre: Unisinos, 2005. 165p.

ALBINO, V. M. S. **Avaliação da susceptibilidade Hidrogeográfica à recarga aquífera em meios porosos**. Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade de Lisboa: Lisboa, 2010.

ALVARENGA, L. A., MELLO, C. R., COLOMBO, A., CUARTAS, L.A., BOWLING, L.C. Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian headwater watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. **Catena**, v. 143, p. 7-17, 2016.

ALVES, I. C.A, EL-ROBRINI, M., SANTOS, M. L. S., MONTEIRO S. M., BARBOSA, L. P. F., GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amaz.**, n. 1, p.115-124, 2012.

ALVES, V. A. H. S. **Avaliação da Resistência a Degradação Mecânica de Agregados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro por Técnicas Digitais de Imagens**. Dissertação de mestrado em Geologia. UFRJ: Rio de Janeiro, 2014.

AMADOR, E. S. Baía de Guanabara: um balanço histórico. In: ABREU, M.A. (Org.). **Sociedade e natureza no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: PMRJ, 1992.

AMARAL, C.; FEIJÓ, R. L. Aspectos ambientais dos escorregamentos em áreas urbanas. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. New York, 1998.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

ARAÚJO, P. C. **Respostas hidrogeoquímicas da qualidade da água na bacia do Córrego sujo, Teresópolis (RJ)**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2013.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos de solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 56, p. 125-134, 1999.

ASTEL, A., WALNA, B., SIMEONOV, V., KURZYCA, I. Multivariate statistics as means of tracking atmospheric pollution trends in western Poland. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 43, p. 313–328, 2008.

BAGDE, U.S., RANGARI, A.K. Periodicity of coliform bacteria in an aquatic environment. **Wat. Sci. Tech.**, v.40, n.7, p.151-157, 1999.

BAGGIO, H. F. **Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente na bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro – MG**. Tese de Doutorado em Geologia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 234p.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. New York: W.H. Freeman and Company, 2002. 557p.

BARTRAM, J., HELMER, R. Introduction. In: BARTRAM, J., BALANCE, R. (Org.) **Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes**. London: United Nations Environment Programme, 1996.

BENCHIMOL, J. L. **Pereira Passos: um Haussmann tropical**. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 1990.

BERNARDI, J. V. E., FOWLER, H. G., LANDIM, P. M. B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. **Holos Environmental**, n.1, p. 162-172, 2001.

BERTOL, I., LEITE, D., GUADAGNIN, J. C., RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ciências Solo**, n. 28, p. 1045-1054, 2004.

BIERKENS, M. F. P., FINKE, P. A., DE WILLIGEN, P. **Upscaling and Downscaling Methods for Environmental Research**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2000.

BHUMBLA, D. K. **Agriculture practices and nitrate pollution of water**. West Virginia University Extension Service, 2001.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard. Blücher, 1977. 185p.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2011.

_____. **Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei n.º 9433, 08 de janeiro de 1997.** Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 14 jun. 2011.

_____. **Plano de Manejo Parque da Tijuca (2008).** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/parna_tijuca_pm.pdf>. Acesso em: 05 set. 2015.

_____. **A Caminho da Agenda 21.** Brasileira: Princípios e Ações 1992/97. Brasília, 1997.

BRUIJNZEEL, L. A. Forest hydrology. In: **The Forests Handbook.** EVANS, J. C. Blackwell Scientific: Oxford, 2001.

CABALEIRO, S. M. O. L. **Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental – sub-baciado córrego Sarandi, Minas Gerais.** Tese de Doutorado em Geologia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CASTRO, I. E. O problema da escala. In: **Geografia, conceitos e temas.** CASTRO, I. E; CORREA, R. L., GOMES, P.C.C. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 114-40, 1995.

CASTRO, C. B., MENDONÇA, A. S. F. Impactos de ações antrópicas em bacias de mananciais rurais de montanha sobre parâmetros de qualidade de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, n. 9(1), p. 17-26. 2004.

CEDAE. **Relatórios qualidade de água.** Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/div/RelatoriosQualidadeAgua/2014/FOLDER%20%20RELAT%3%93RIO%20ANUAL%202014%20-%20Taylor.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2015.

CHANG, H. J. Comparative streamflow characteristics in urbanizing basins in the Portland Metropolitan Area, Oregon, USA. **Hydrological Processes.** N. 21(2), p. 211–222, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Büchler, 1999. 236p.

CLEVELÁRIO Jr., J. **Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serapilheira da bacia do Alto rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes.** Dissertação de Mestrado em Geoquímica. UFF: Niterói, 1988.

COELHO NETTO, A. L. **Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro.** Tese de doutorado, Bélgica: Katholieke Universiteit Leuven, 1985.

_____. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.): **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 93-148.

_____. A Interface Florestal - Urbana e os Desastres Naturais Relacionados à Água no maciço da Tijuca: Desafios ao Planejamento Urbano numa Perspectiva Sócio Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 46- 60, 2005.

COELHO, C. A., OLIVEIRA, C. P., AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S., CARPENEDO, C. B., CAMPOS, J. L. P. S., TOMAZIELLO, A. C. N. T., PAMPUCH, L. A., CUSTÓDIO, M. S., DUTRA, L. M. M., ROCHA, R. P., REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Clim. Dyn.**, p. 1–16, 2015.

COSTA, N. M. C. **Geomorfologia Estrutural dos Maciços Litorâneos do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1986.

CREPALLI, M. S. **Qualidade da água do rio Cascavel**. Dissertação de mestrado: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007.

CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia Fluvial**. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. da (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos*. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUNHA, H. B., PASCOALOTO, D. **Hidroquímica dos rios da Amazônia**. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, Secretaria de Estado da Cultura, Centro Cultural dos Povos da Amazônia, 2006.

DANCEY, C. P., REIDY, J. Análise de correlação: o r de Pearson. **Estatística sem matemática para psicologia**. Porto Alegre: Artemed, 2006.

DE BOER, D. H. Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review. **Geomorphology**, nº 4, p. 303-318, 1992.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Cia. das Letras, 1996.

DIAS, M. A. **Influência da topografia na dinâmica de bordas floresta-gramínea em um relevo montanhoso, maciço da Tijuca - RJ**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

DONNER, S. D., COE, M. T., LENTERS, J. D., TWINE, T. E., FOLEY, J. A. Modeling the impact of hydrological changes on nitrate transport in the Mississippi River Basin from 1955 to 1994. **Global Biogeochem**, n. 16 (3), 2002.

DUNN, S. M., BROWN, I., SAMPLE, J., POST, H. Relationships between climate, water resources, land use and diffuse pollution and the significance of uncertainty in climate change. **Journal of Hydrology**, n. 434, p. 19–35, 2012.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in Environmental Planning**. W. F. Freeman & Co. San Francisco, 1978.

DRUMMOND, J. A. O jardim dentro da máquina: breve história ambiental da Floresta da Tijuca. **Estudos Históricos**, nº 1, p. 278-294, 1988.

- _____. **Devastação e preservação ambiental no Rio de Janeiro**. Niterói: EdUFF, 1997.
- ELTAHIR, E.A.B., BRAS, R. L. Precipitation recycling. **Reviews of Geophysics**. N. 34, p. 367–378, 1996.
- FALKENMARK, M., ANDERSON, L, COSTENSSON, R., SUNDBLAD, K . **Water, a reflection of land use: options for counteracting land and water mismanagement**. Stockholm, Sweden: Swedish Natural Science Research Council, 1999. 128p.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Natural Resources Management and Environment Department**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em 05 jul. 2012.
- FELIPPE, M. F. **Espacialização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, Hidrológicas e Ambientais**. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- FERNANDES, M. C. **Geocologia do Maciço da Tijuca-RJ: uma abordagem geohidroecológica**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 1998.
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p.51-71, 2001.
- FIGUEIRÓ, A. S. **Mudanças Ambientais na interface Floresta-Cidade e propagação de efeito de borda no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.
- FREITAS, L.E. **Transformações geológicas, hidrológicas e erosivas em ecossistemas florestais de encosta: o papel da recorrência de incêndio**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.
- FRITZSONS, E. **Avaliação do Impacto da contaminação por nitrogênio na bacia hidrográfica cárstica de Fervida / Ribeirão das Onças – Colombo –PR**. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. UFPR, 1999.
- GAMESON, A. S. H., DAVIDSON, R. N. Storm-water investigations at Northampton. **J. and Proc. Inst. Sewage Purific**, v. 2, 1963.
- GEOHECO-UFRJ/SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE – RIO DE JANEIRO- RJ. **Estudos de qualidade ambiental do Geocossistema do Maciço da Tijuca, fase 2: Subsistema Hidrográfico da Zona Sul (SSHZS)**. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2000.
- GHREFAT, H.A., ABU-RUKAH, Y., ROSEN, M. A. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, p. 95-109, 2011.

GOMES, A. **Estudo da qualidade das águas de mananciais da Floresta da Tijuca – Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Química. UFRJ: Rio de Janeiro, 2005.

GONÇALVES, E. M. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ: Rio de Janeiro, 2009.

GROLL, M., OPP, C., KULMATOV, R., IKRAMOVA, M., NORMATOV, I. Water quality, potential conflicts and solutions—an upstream down- stream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan). **Environ Earth Sci** v. 73, n. 56, p. 743–763, 2015.

HADDAD, E. A. (2007). **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 125 p.

HAHMANN, A. N., DICKINSON, R. E. RCCM2-BATS Model over Tropical South America: Applications to Tropical Deforestation. **Journal of Climate**. n. 10, p. 1944–1964, 1997.

HARVEY, David. **Condição Pós-Moderna**. São Paulo: Loyola, 1996.

HOLLIS, G. E. Rain, roads, roofs and runoff: hydrology in cities. **Geography**, n. 73, p. 9–18, 1988.

HORNBECK, J. W., MARTIN, C. W., PIERCE, R. S., BORMANN, F. H., LIKENS, G. E., EATON, J. S. The Northern hardwood forest ecosystem: ten years of recovery from clearcutting. **U.S. Department of Agriculture**, Broomall, PA. Research Paper NE-RP-596, 1987.

KAUSHAL, S. S., GROFFMAN, P. M., BAND, L. E., SHIELDS, C. A., MORGAN, R. P., PALMER, M. A., BELT, K. T., FISHER, G. T., SWAN, C. M., FINDLAY, S. E. G. Interaction between urbanization and climate variability amplifies watershed nitrate export in Maryland. **Environmental Science & Technology**, n. 42, p. 5872–5878, 2008.

KVALHEIM, O.M. Interpretation to latent-variable for projection methods and their use and aims in the interpretation of multicomponent spectroscopic and chromatographic data. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, n.4, p. 11-15, 1998.

KRATZER, E. B., JACKSON, J. K., ARSCOTT, D. B., AUFDENKAMPE, A. K., DOW, C. L., KAPLAN, L. A., NEWBOLD, J. D., SWEENEY, B. W. Macroinvertebrate distribution in relation to land use and water chemistry in New York City drinking-water-supply watersheds. **Journal of the North American Benthological Society**. N. 25, p. 954-976, 2006.

KRONVANG, B. Sediment associated phosphorus transport from two intensively farmed catchment areas. In: BOARDMAN, J., FOSTER, I. D. L., DEARING, J. A. (Ed.). **Soil Erosion on Agricultural Land**. London: Wiley, p. 313-330, 1990.

LEITE, A. F. **Hidrogeoquímica e intemperismo na bacia do rio Bananal (SP/RJ)**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.

LENAT, D. R., CRAWFORD, J. K. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams. **Hydrobiologia**, n. 294, p. 185-199, 1994.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação de solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 178p.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos**. Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LIMA, W. P., FERRAZ, S. F. B., FERRAZ, K. M. P. M. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M. C., CUNHA, D. G. F. (Ed.) **Engenharia ambiental conceitos tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.215-44. 2013.

MACHADO, P. J. O., TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MAGALHÃES Jr., A. P. A situação do monitoramento das águas no Brasil – Instituições e Iniciativas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol.5, n. 3, p. 113-115, jul./set. 2000.

MALLINIS, G., KOUTSIAS, N., ARIANOUTSOU, M. Monitoring land use/land cover transformations from 1945 to 2007 in two peri-urban mountainous areas of Athens metropolitan area, Greece. **Science of the Total Environment**, n.490, p. 262-278, 2014.

MARMONTEL, C. V., RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, p. 1 -11, 2015.

MARTINEZ, M. I. **Avaliação da susceptibilidade de terreno para deslizamentos rasos: Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 2014.

MEYBECK, M.; HELMER, R. Introduction. In: BARTRAM, J., BALANCE, R. (Org.) **Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes**. London: United Nations Environment Programme, 1996.

MEYBECK, M. River water quality, global ranges time and space variabilities. **Vehr. Int. Verein. Limnol.**, n. 26, p. 81-96, 1996.

MENEZES, M. D., JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A., MELLO, C. R., SILVA, A. M., CURI, N., MARQUES, J. J., Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha-Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, n. 37, p.175–184, 2009.

MIRANDA, F. S. M. **Dinâmica de serapilheira em encosta íngreme no Parna-Tijuca (RJ): A posição na encosta e declividade como fatores condicionantes à formação dos estoques.** Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 2013.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2000.

MROWKA, J. P. Man's impact on stream regime quality. In: Manners and Mikesell (Org.), **Perspectives on Environment**, 1974.

MUCHOVEJ, M. C., RECHEIGL, J. E. 1995. Nitrogen fertilizers. In: ONA, J. E. R. **Soil Amendments and Environmental Quality**, p 1- 64, 1995.

MUSCUTT, A. D., HARRIS, G. L., BAILEY, S. W., DAVIES ,D. B.. Buffer zones to improve water quality: A review of their potential use in UK agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 45, p. 59-77, 1993.

NAVA, D. B., SILVA JR, G.,C., FERREIRA, A. M. M. Levantamento Geotécnico-Ambiental da Vertente Sul dos Morros do Corcovado e Sumaré, Serra da Carioca, Município do Rio de Janeiro. In: Simpósio de Geologia do Sudeste. São Paulo: Atas, p. 263-271, 1991.

NEARY, D.G., ICE, G.G., JACKSON, C.R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. **For. Ecol. Manage.** n.1, p. 2269–2281, 2009.

NEGREIROS, A. B. **Recuperação de Floresta Atlântica e resultante hidro-erosiva em clareiras de deslizamentos nas encostas íngremes do Maciço da Tijuca, RJ.** Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

OLIVEIRA, E. S. **Indicadores Geoambientais de Qualidade das Águas da Bacia do Córrego Sujo, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Teresópolis (RJ).** Tese de Doutorado em Geociências. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **O Futuro que Queremos.** Rio de Janeiro, 2012.

PÁDUA, J. A. **Um sopro de destruição: pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista (1786-1888).** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.

PANAGOULIAS, T. I. **Hidrogeoquímica das águas superficiais da bacia do Rio Soberbo, Parque Nacional da Serra dos Órgãos – Guapimirim/RJ.** Dissertação de Mestrado em Geoquímica. UFF: Niterói, 2000.

PERK, M. V. **Soil and Water contamination: from molecular to catchment scale.** Leiden: Taylor and Francis/Balkema, 1996, 365p.

PIERONI, J. P., BRANCO, K. G. R., INACHVILI, I., FERREIRA, G. C. Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub bacia hidrográfica do córrego Água Limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de Pratápolis, Minas Gerais. **Geociências**, n. 3, p.402-410, 2015.

PINTO, A. G. N., HORBE, A. M. C., SILVA, M. S. R., MIRANDA, S. A. F., PASCOALOTO, D., SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, n. 39, p. 627-638, 2009.

PIRES, L. C. M. **Diagnóstico da Qualidade das Águas Superficiais do Município de Teresópolis-RJ**. Dissertação de Mestrado em Química Analítica. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PIRES, F. R. M., VALENÇA, J. G., RIBEIRO, A. Multistage generation of granite in Rio de Janeiro. **An. Acad. Brás. Ciência**, n. 54 (3), p. 563-574, 1982.

PRICE, K. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: a review. **Prog. Phys. Geogr.**, n. 35, p. 465-492, 2011.

REBOUÇAS, A. C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras, 2006.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora MG: Metais pesados e atividades antropogênicas**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Belo Horizonte, 2010.

ROCHA LEÃO, O. M. **Potencialidades e limitações da revegetação no controle da hidrologia e erosão dos solos**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 1997.

ROSAS, R. O. **Formação de solos em ambiente florestado, Maciço da Tijuca, RJ**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 1991.

ROSE, S, PETERS, N. E. Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): A comparative hydrological approach. **Hydrological Processes**. N. 15(8), p. 1441-1457, 2001.

ROUNSEVELL, M. D. A., REGINSTER, I., ARAUJO, M. B., CARTER, T. R., DENDONCKER, N., EWERT, F., HOUSE, J. I., KANKAANPAA, S., LEEMANS, R., METZGER, M. J., SCHMIT, C., SMITH, P., TUCK, G. A coherent set of future land-use change scenarios for Europe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 114 (1), p. 57-68, 2006.

SALATI, E., SANTOS, A. A., KLABIN, I. Temas Ambientais Relevantes. **Estudos Avançados**. v. 20, n. 56, p. 107-12, 2006.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo: Nobel, 1992.

SCARBOROUGH, V., DUNNING, N., TANKERSLEY, K., CARR, C. H., WEAVER E., GRAZIOSO, L., LANE, B., JONES, J., BUTTLES, P., V ALDEZ, F., LENTZ, D. Water and sustainable land use at the ancient tropical city of Tikal, Guatemala. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, n. 109, p. 12408-13, 2012.

SWANK, W. T., WAIDE, J. B. Characterization of baseline precipitation and stream chemistry and nutrient budgets for control watersheds. In: Swank, W. T., Crossley, Jr., D. A. (Eds.), **Forest Hydrology and Ecology at Coweeta**. New York, vol. 66, p. 57–80, 1988.

SILVA, F. R. S. **Uso da água na bacia do rio Cachoeira, Maciço da Tijuca (RJ): Qualidade, escassez e conflitos locais**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

SILVA FILHO, E. V. **Estudos de chuva ácida e de entradas atmosféricas de Na, K, Ca, Mg, e Cl na bacia do alto rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Geoquímica. UFF: Niterói. 1985.

SILVEIRA, C. S. **Hidrogeoquímica em sistema de drenagem montanhoso- florestal: subsidio à compreensão do processo de intemperismo - Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 1997.

SILVEIRA, C. S., COELHO NETTO, A. L. Hydrogeo-chemical responses to rainfall inputs in a small rainforest basin: Rio de Janeiro, **J. Physics and Chemistry of the Earth**, vol 4. p. 871-879, 1999.

SIMEONOVA, P., SIMEONOV, V. Chemometrics to evaluate the quality of water sources for human consumption. **Microchemical Acta.**, n. 156, p. 315-320, 2007.

SIMMONS, D. L., REYNOLDS, R. J. Effects of urbanization on base-flow of selected south-shore streams, Long Island, New York. **Water Resources**. N. 18(5), p. 797–805, 1982.

STEEL, A., CLARKE, M., WHITFIELD, P. Use and Reporting of Monitoring Data. In: BARTRAM, J., BALLANCE, R. (Ed.). **Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. London: United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 1996.

SUMMERFIELD, M. **Global Geomorphology**. New York: Longman Scientific & Technical and John Wiley & Sons, 1991. 547 p.

TAMBOSI, L.R., VIDAL, M. M., FERRAZ, S. F. B., METZGER, J. P. **Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal**. Estudos Avançados, v. 29, n.84, 2015.

TEFERI, E., BEWKET, W., UHLENBROOK, S., WENNINGER J. Understanding recent land use and land cover dynamics in the source region of the Upper Blue Nile, Ethiopia: spatially explicit statistical modeling of systematic transitions. **Agric Ecosyst Environ**, n. 165, p. 98–117, 2013.

TEIXEIRA, Z., TEIXEIRA, H., MARQUES, J. C. Systematic processes of land use/land cover change to identify relevant driving forces: implications on water quality. **Sci Total Environ**, n. 470, p. 1320–35, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade-ABRH-EPUSP: Porto Alegre, 2002.

VAITSMAN, D. S. **Água mineral**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

VIEIRA, P. C. **Avaliação das Condições de Qualidade da Água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no Município de Belo Horizonte**. Dissertação de mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG: Belo Horizonte, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

ZAÚ, A. S. **Variação da cobertura vegetal e efeitos na hidrologia superficial: Maciço da Tijuca, RJ**. Dissertação de mestrado em Geografia. UFRJ: Rio de Janeiro, 1994.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. (1987) Principal component analysis. In: KVALHEIM, O.M. (ed.) Proceedings of the Multivariate Statistical Workshop for Geologists and Geochemists. **Chemolab**, v. 2, p. 37-52, 1987.