

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PAULA COELHO ARAUJO

**RESPOSTAS HIDROGEOQUÍMICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
CÓRREGO SUJO, TERESÓPOLIS (RJ)**

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro

2013

PAULA COELHO ARAUJO

**RESPOSTAS HIDROGEOQUÍMICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
CÓRREGO SUJO, TERESÓPOLIS (RJ)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência (M. Sc.).

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2013

PAULA COELHO ARAUJO

**RESPOSTAS HIDROGEOQUÍMICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
CÓRREGO SUJO, TERESÓPOLIS (RJ)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência (M. Sc.).

Aprovada em ___ / ___ / ___

Orientador

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

Prof^a. Mônica dos Santos Marçal, D. Sc. - IGEO/UFRJ

Prof. Reiner Olibano Rosas, D. Sc. - IGEO/UFF

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me ajudado a concluir mais uma etapa da minha vida e pelo conforto em todas as horas difíceis.

A toda minha família, em especial minha mãe Elizabeth Coelho, irmã Ionara Coelho e Tia Alba Perantoni, pelo apoio em mais essa jornada, pela confiança, ajuda financeira e compreensão, principalmente, nos momentos mais difíceis e em minhas involuntárias ausências. Ao meu noivo Rodrigo Farinazzo pelo auxílio em todas as etapas da pesquisa, pela incansável ajuda, sempre manifestando encorajamento, disponibilidade, paciência e carinho.

Ao professor André de Souza Avelar pelo estímulo à pesquisa, pelos desafios propostos na implantação de um laboratório de análise de água que foram de grande crescimento profissional e pessoal, pelo incentivo através de críticas construtivas, bem como por sua orientação ao longo desse estudo.

A coordenadora do Laboratório de Geohidroecologia professora Ana Luíza Coelho Netto por ter me recebido.

Aos amigos Suelen Alpino e Vitor dos Santos pela amizade, parceria mútua nos trabalhos e companheirismo durante todo este período. Agradeço também, aos colaboradores que contribuíram para que essa pesquisa pudesse ser desenvolvida, pelas horas despendidas, além das conversas descontraídas: Ana Paula Araujo, Ana Carolina Facadio, Leonardo Brum, Yohana Rigueto, Maria Isabel Martinez, Sônia Mena, Isabela Rocha, Leonardo Corrêa, Jorge Vieira, Daniele Mendonça e Tainá Laeta.

Meus sinceros agradecimentos aos professores Ricardo Santelli, Aline Soares e Emmanuel Vieira pela atenção, gentileza em realizar as análises das amostras de água e aporte significativo para esta pesquisa.

A Elba de Oliveira por ter dedicado o seu tempo nas discussões frutíferas que colaboraram para esta dissertação.

Ao Gilson Gonçalves pelo suporte no que condiz ao tratamento estatístico dos dados, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do estudo.

Aos observadores de campo Lessandro, Queli, Sandra e Carina pela leitura diária dos instrumentos e em especial à estagiária Amanda Carneiro, que auxiliou na viabilização dos trabalhos de campo.

Aos órgãos de fomento Capes, CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro da pesquisa e pela bolsa de estudo.

Aos meus amigos de mestrado por todo o companheirismo, acolhimento, pelas palavras amigas, incentivadoras e confortantes nos momentos difíceis: Ramon Coelho, Adolfo Albino, Elizabeth Margot, Fellipe Bolinho, Taís de Santana, Manuelle Lago e Felipe Machado. Muito obrigada a todos pela colaboração direta ou indireta tornando este sonho uma realidade!

“Se a ciência é a reunião de fatos, teorias e métodos reunidos nos textos atuais, então os cientistas são homens que, com ou sem sucesso, empenharam-se em contribuir com um ou outro elemento para essa constelação específica.”

Thomas S. Kuhn

Resumo

ARAÚJO, Paula Coelho. Respostas Hidrogeoquímicas da Qualidade da Água na Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

A qualidade das águas superficiais foi investigada na bacia hidrográfica do Córrego Sujo, localizada no município de Teresópolis, região serrana do estado do Rio de Janeiro. A ênfase incidiu nos parâmetros inorgânicos da água, uma vez que há acentuada aplicação de insumos e defensivos nos cultivos agrícolas. Considerando as contribuições naturais e antropogênicas da área de estudo foram monitorados, mensalmente em oito pontos de coleta nos canais fluviais da bacia, a concentração e distribuição dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, turbidez, como também os elementos-traço na água como Al, Fe, Ca, Mg, Mn, K. Os resultados foram analisados em dois espectrofotômetros distintos o UV-vísivel e o ICP-OES, e posteriormente, comparados a Resolução Conama 357/05. A fim de subsidiar a interpretação dos resultados de qualidade de água foram utilizados dados de vazão e precipitação mensurados na bacia, juntamente com o mapa de uso e cobertura vegetal realizado a partir da imagem de satélite GeoEye. O estudo revelou que as águas superficiais da bacia encontraram-se com altas concentrações e acima do recomendado pela Resolução Conama, em função do uso de insumos agroquímicos, contribuindo para que as mesmas fossem enquadradas como Classe III, evidenciando assim, o risco que se oferece aos sistemas ambientais, como a própria saúde humana. Constatou-se também que, as variáveis litológicas e pedológicas exercem influência nos resultados de qualidade da água, assim como o perfil longitudinal do relevo da bacia, que não contribui para a autodepuração da água e, por conseguinte, na diluição dos poluentes. Com relação à sazonalidade, não foi possível estabelecer um padrão comum de concentração a todos os elementos em função do período chuvoso ou de estiagem, todavia na análise feita de cada parâmetro isoladamente, ficou evidente uma distribuição na variação temporal. Logo, os resultados deste trabalho indicam que é preciso também inserir estas questões no

planejamento territorial do município e na gestão do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha, desenvolvendo ações que atuem na previsão de risco, a fim de garantir a qualidade ambiental e evitar a expansão crescente e descontrolada dos cultivos agrícolas irrigados e com intenso uso de insumos agroquímicos.

Palavras-chaves: qualidade da água; geoquímica; influências naturais e antropogênicas

Abstract

ARAÚJO, Paula Coelho. Respostas Hidrogeoquímicas da Qualidade da Água na Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The surface waters quality was investigated in the basin of Córrego Sujo, located in the municipality of Teresópolis, mountainous region of the state of Rio de Janeiro. The emphasis focused on inorganic parameters of water, since there are sharp application of inputs and pesticides in agricultural cultivations. Considering the natural and anthropogenic contributions of the study area were monitored monthly in eight sites in the river channels of the river basin, the concentration and distribution of physicochemical parameters: electrical conductivity, dissolved oxygen, pH, temperature, turbidity, as well as the trace elements in water as Al, Fe, Ca, Mg, Mn, k. The results were analyzed in two different spectrophotometers UV-Visible and ICP-OES, and subsequently compared to Conama Resolution 357/05. In order to support the interpretation of the results of water quality were used flow and precipitation data measured in the basin, along with the use and vegetation cover map produced from GeoEye satellite image. The study revealed that the surface waters of the basin were in high concentrations and above recommended by Conama Resolution, due to the use of agrochemical inputs, contributing to that they were classified as Class III, highlighting the risk that offers environmental systems, such as the human health itself. It was noted also that the lithological and pedological variables influence the results of water quality, as well as the longitudinal profile relief of the basin, which does not assist the self-depuration of water and therefore dilution of pollutants. Regarding seasonality, it has not been possible to establish a common standard to all elements in the rainy season or dry season, however the analysis of each parameter separately, it was evident a concentration distribution in temporal variation. Therefore, the results of this study indicate that it is also necessary to insert these issues in the territorial planning of the municipality and in the management of the Watershed Committee of Rio Piabanha, developing actions that act on risk prediction in order to

maintain quality the quality of the environment and avoid the increasing and uncontrolled expansion of irrigated crops and intensive use of agrochemical inputs.

Key words: water quality; geochemistry; natural and anthropogenic influences

Lista de Figuras

Figura 3.1: Uso crescente de fertilizantes e áreas irrigadas globalmente.....	11
Figura 3.2: Parâmetros de qualidade de água no programa de monitoramento.....	16
Figura 4.1: Mapa de localização da bacia do Córrego Sujo.....	22
Figura 4.2: Temperatura média compensada de Teresópolis,entre os anos de 1961-1990..	23
Figura 4.3: Precipitação acumulada de Teresópolis, entre os anos de 1961-1990.....	23
Figura 4.4: Geomorfologia e desenvolvimento da agricultura nos fundos de vale da bacia do Córrego Sujo, Teresópolis.	25
Figura 4.5: Solos identificados na bacia do Córrego Sujo.	26
Figura 4.6: Parcela de escoamento Gerlach	26
Figura 4.7: Desassoreamento do Córrego Sujo com supressão da mata ciliar.....	28
Figura 4.8: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Córrego Sujo.....	30
Figura 4.9: Cultivo agrícola irrigado na bacia do Córrego Sujo	31
Figura 4.10: População de Teresópolis (1950 - 2012).	31
Figura 4.11: Principais olerícolas cultivadas na bacia do Córrego Sujo	32
Figura 5.1: Mapa dos pontos de amostragem de coleta de água na Bacia do Córrego Sujo	38
Figura 5.2: Coleta da água na estação Floresta Selig	41
Figura 5.3: Análise da água <i>in situ</i>	41
Figura 5.4: Formulário para preenchimento em campo	42
Figura 5.5: Espectrômetro UV - visível, Lab.Geoheco - UFRJ.	43
Figura 5.6: Análise química da água, Lab. Geoheco - UFRJ.....	44
Figura 5.7: Metodologia para análise dos parâmetros da pesquisa	44
Figura 5.8: Espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma.....	45
Figura 5.9: Régua linimétrica instalada na margem do canal fluvial,.....	46
Figura 5.10: Medição de vazão com molinete hidrométrico na estação	47
Figura 5.11: Esquema representativo do método de meia-seção	47
Figura 5.12: Pluviômetros automático (lado esquerdo) e o manual (lado direito) situados na bacia de estudo.	49
Figura 6.1: Relação entre precipitação e altura linimétrica nas três estações.....	53
Figura 6.2: Curva-Chave do tributário do rio Córrego Sujo (Estação Alto Curso).....	55
Figura 6.3: Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Médio Curso)	56
Figura 6.4: Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Baixo Curso)	57
Figura 6.5: Porcentagem de uso do solo e cobertura vegetal (2012).....	58
Figura 6.6: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Córrego Sujo	59
Figura 6.7: Concentração de OD nos pontos amostrais de acordo com a variação espaço- temporal ..	65

Figura 6.8: Variação do OD conforme a sazonalidade	65
Figura 6.9: Concentração de OD nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	66
Figura 6.10: Variação do pH conforme a sazonalidade	68
Figura 6.11: Concentração de pH nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	68
Figura 6.12: Concentração de condutividade elétrica conforme a sazonalidade.....	70
Figura 6.13: Concentração de condutividade elétrica nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal.....	70
Figura 6.14: Concentração de turbidez nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	72
Figura 6.15: Concentração de alumínio conforme a sazonalidade.....	74
Figura 6.16: Concentração de alumínio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	75
Figura 6.17: Concentração de cálcio e magnésio conforme a sazonalidade	77
Figura 6.18: Concentração de cálcio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal.....	78
Figura 6.19: Concentração de magnésio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	78
Figura 6.20: Concentração de ferro nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal	80
Figura 6.21: Concentração de ferro conforme a sazonalidade	81
Figura 6.22: Concentração de manganês conforme a sazonalidade	82
Figura 6.23: Concentração de manganês na variação espaço-temporal	83
Figura 6.24: Concentração de potássio na variação espaço-temporal	84
Figura 6.25: Concentração de manganês conforme a sazonalidade	85
Figura 6.26: Correlação entre as estações amostrais para qualidade da água.	86
Figura 6.27: Correlação entre os parâmetros selecionados para qualidade da água.....	87

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Classificação das Águas Doce (Resolução CONAMA N° 357/2005)	8
Tabela 4.1: Unidades de Proteção do município de Teresópolis. Fonte: CEPERJ, (2012).....	28
Tabela 5.1: Pontos de amostragem de coleta de água e suas respectivas localizações.	35
Tabela 5.2: Parâmetros adotados na pesquisa e os equipamentos utilizados	39
Tabela 6.1: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Alto Curso.....	55
Tabela 6.2: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Médio Curso	56
Tabela 6.3: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Baixo Curso	57
Tabela 6.4: Resultados para a concentração de Fe.....	61
Tabela 6.5: Estatística descritiva da comparação entre os resultados	62
Tabela 6.6: Resultados para OD e estatística descritiva.....	64
Tabela 6.7: Resultados para temperatura e estatística descritiva	64
Tabela 6.8: Resultados para pH e estatística descritiva.....	67
Tabela 6.9: Resultados para condutividade elétrica e estatística descritiva	70
Tabela 6.10: Resultados para turbidez e estatística descritiva	71
Tabela 6.11: Resultados para alumínio e estatística descritiva	74
Tabela 6.12: Resultados para cálcio e estatística descritiva.....	76
Tabela 6.13: Resultados para magnésio e estatística descritiva	76
Tabela 6.14: Resultados para ferro e estatística descritiva.....	79
Tabela 6.15: Resultados para manganês e estatística descritiva.....	83
Tabela 6.16: Resultados para potássio e estatística descritiva	84

Lista de Abreviaturas

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CEIVAP	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	US Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GPS	Global Positioning Satellite
M.O.	Matéria Orgânica
mg/L	Miligrama por Litro
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
µs/cm	microSiemens
nm	Nanômetro
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
R ²	Coefficiente de determinação
UC	Unidade de Conservação
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UV	Ultravioleta
VIS	Visível
WHO	World Health Organization

Sumário

1) INTRODUÇÃO	1
2) OBJETIVOS	5
3) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1) Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos	6
3.2) Qualidade da água e uso do solo	9
3.3) Parâmetros da água em uma perspectiva geossitêmica	12
3.4) Qualidade da água e o programa de monitoramento	14
3.5) Parâmetros químicos, físicos e físico-químicos monitorados na pesquisa	17
3.5.1) Alumínio	17
3.5.2) Cálcio e Magnésio	17
3.5.3) Condutividade elétrica	18
3.5.4) Ferro	18
3.5.5) Manganês	18
3.5.6) Oxigênio dissolvido (OD)	19
3.5.7) Potencial Hidrogeniônico (pH)	19
3.5.8) Potássio	19
3.5.9) Temperatura	20
3.5.10) Turbidez	20
4) ÁREA DE ESTUDO	21
4.1) Localização	21
4.2) Aspectos físicos	21
4.2.1) Clima	21
4.2.2) Geologia	24
4.2.3) Caracterização geomorfológica	24
4.2.4) Solo	25

4.2.5) Vegetação	27
4.2.6) Uso e ocupação do solo	29
4.3) Aspectos socioeconômicos.....	31
4.4) Usos do solo e água e seus impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos	32
5) METODOLOGIA	34
5.1) Programa de monitoramento hidrológico.....	34
5.2)Monitoramento da qualidade da água	34
5.2.1) Definição das estações amostrais	34
5.2.2) Definição dos parâmetros monitorados.....	37
5.2.3) Descrição e metodologia empregada nos trabalhos de campo.....	39
5.2.4) Métodos de análises químicas	42
5.3) Fluviometria	46
5.4) Precipitação	49
5.5) Mapeamento do uso e cobertura vegetal.....	50
5.6) Análise estatística.....	50
6) RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1) Fluviometria	52
6.1.1) Relação entre precipitação e altura linimétrica	52
6.1.2) Curva-chave	54
6.2) Uso e ocupação do solo e Cobertura Vegetal.....	58
6.3) Comparação dos resultados analíticos de água	60
6.4) Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água	63
6.4.1) Oxigênio Dissolvido e temperatura.....	63
6.4.2) Potencial Hidrogeniônico (pH)	66
6.4.3) Condutividade elétrica	69
6.4.4) Turbidez	71
6.5) Comportamento dos parâmetros inorgânicos na água.....	72
6.5.1) Alumínio	72

6.5.2) Cálcio e Magnésio	75
6.5.3) Ferro	78
6.5.4) Manganês	81
6.5.5) Potássio	83
6.6) Resultados estatísticos.....	85
7) CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
Anexo 01	99
Anexo 02	100

1) INTRODUÇÃO

As questões relacionadas à água tem sido objeto de investigações científicas de caráter interdisciplinar, tanto no que tange aos seus aspectos quantitativos como os qualitativos. Interpretada sob a perspectiva de um recurso natural, as pesquisas que veem sendo desenvolvidas atualmente se fundamentam na sua inter-relação com a sociedade e a economia. Já sob a ótica de seus usos, as discussões estão permeadas no contexto da degradação de tal recurso, com intuito de subsidiar a qualidade ambiental. Sob o enfoque geográfico, a água pode ser vista como uma substância que participa dos processos espaciais, visto que condiciona a dinâmica das atividades naturais e as exercidas pelo homem no globo. As atividades humanas, por sua vez, podem causar a degradação qualitativa e reduzir as disponibilidades hídricas, acarretando perdas que irão interferir no seu uso, sendo estes fatores mencionados interpretados pela geografia.

Nesse sentido, a investigação da água permite avaliar sua qualidade, assim como apontar quais atividades antropogênicas podem ter interferido neste âmbito qualitativo, clamando por uma análise que inclua a dimensão espacial. Preconizando esta temática, na esfera legislativa, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/97, também denominada de Lei das Águas do Brasil, traz uma nova abordagem, instituindo a bacia hidrográfica como uma unidade espacial de planejamento e unidade territorial de gestão dos recursos hídricos, além de fundamentar os instrumentos para a gestão das águas no país.

Ainda se tratando da referida lei, a gestão em bacias hidrográficas tem como finalidade, avaliar as demandas e disponibilidades de água e sua distribuição dentre os múltiplos usos, com a finalidade de se obter máximos benefícios econômicos e sociais. Para tanto, o estudo da qualidade da água através do monitoramento periódico é uma ferramenta de gerenciamento que se torna fundamental para a gestão de recursos hídricos.

Magalhães Júnior (2000) retrata que para o sucesso de qualquer sistema de gestão das águas é imprescindível um plano de monitoramento adequado, que permita compor um banco de dados subsidiando a geração de informações e viabilizando projetos de investimentos em recursos hídricos. Considerando que, não se pode gerenciar aquilo que não se conhece e não possui informações. É preciso, portanto, quantificar para compreender os estoques hídricos (qualidade e quantidade), entender o comportamento hidrológico e as alterações no uso da água.

A gestão utiliza como subsídio o gerenciamento da água, que incluem os novos paradigmas de uma base de dados sustentada pela pesquisa científica e conforme Tundisi (2003) tendem a gerar as informações que são relevantes para a tomada de decisões por parte dos gestores.

Diante disso, os objetivos do programa de monitoramento da água se diferenciam em se tratando das especificidades de cada bacia hidrográfica e do uso que se faz da terra, sobretudo naquelas bacias em que há desenvolvimento do cultivo agrícola. Esses programas devem ser pautados em um bom planejamento, tendo em vista que a 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, tendo em vista que eles tendem a se direcionar para as áreas de recargas de aquíferos, conforme FAO (2012).

Nesse sentido, a geoquímica ambiental contribui para o monitoramento através da compreensão das propriedades dos elementos e íons e reflete a preocupação com os desequilíbrios da natureza, diante dos problemas como superpopulação, urbanização, dentre outros (ROHDE, 2004). Esta ciência estuda os processos geoquímicos, produzidos pelas ações antropogênicas e suas influências sobre os compartimentos terrestres, logo, a investigação deve perpassar pelo conhecimento das rochas, solos, águas superficiais e subterrâneas, a fim de definir e elaborar instrumentos de planejamento urbano e de gestão ambiental (CABALEIRO, 2010).

Segundo Oliveira (2007), nas áreas de oleicultura há uma vigorosa aplicação de fertilizantes orgânicos e químicos (usualmente o NPK) nos solos, bem como o emprego de pesticidas foliares, assim, os programas de qualidade da água devem ser sistematizados, incluindo a perspectiva geoquímica nesta rotina, ou seja, a análise dos parâmetros inorgânicos e de elementos traços (aqueles que possuem pequenas concentrações), já que os químicos aplicados nas lavouras tem como destino à dispersão nas águas superficiais e subterrâneas.

Souza (2002) acrescenta que, este tipo de manejo agrícola favorece a ocorrência de erosão e transporte de sedimentos para os canais fluviais, propiciando o assoreamento, elevando a concentração química e a turbidez dos corpos de água.

A ocorrência dos metais e de outros parâmetros na água, em bacias com este uso, está sob influência dos fatores sobreditos. Não obstante as fontes naturais, ou seja, as condições litológicas e pedológicas influenciam na presença destes elementos nos corpos hídricos, a partir do contato com as rochas e do escoamento superficial que carrega, sobretudo, as partículas de argilas para o canal.

Nesta perspectiva, a área de estudo para o desenvolvimento da pesquisa, é a bacia hidrográfica do Córrego Sujo, localizada no município de Teresópolis – RJ, na qual há uma significativa produção agrícola irrigada e com elevada inserção de insumos químicos. Requer por sua vez, periódico monitoramento da qualidade da água, do qual foi realizado em oito estações amostrais na bacia, os resultados alcançados foram comparados com a Resolução Conama nº 357/2005, que estabelece os valores padrões para tais elementos nas águas doces superficiais.

Considerando que, a qualidade se faz também dependente das variáveis hidrológicas, como vazão do escoamento do canal e precipitação na área incidente, foi realizada também, a mensuração destes parâmetros mencionados, abrangendo períodos da estação chuvosa e de estiagem.

Desta maneira, o trabalho justifica-se devido à relevância da implantação destes programas em bacias agrícolas, sendo esta temática retratada inclusive pela legislação brasileira. Acrescenta-se ainda que internacionalmente estas questões são amplamente discutidas, como na Declaração Final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio +20), documento que firma que a água encontra-se no cerne do desenvolvimento sustentável e que há necessidade de adoção de medidas que reduzam a poluição da água, a fim de melhorar sua qualidade, aumentando a eficiência do uso e a redução das perdas de água.

A justificativa ainda está pautada na geograficidade do tema, na incontestável importância das águas superficiais no contexto da qualidade ambiental, nas resoluções tomadas por órgãos nacionais e internacionais, na inserção do tema discutido neste estudo dentro da Política Nacional dos Recursos Hídricos e na possibilidade desta pesquisa gerar informações para a gestão dos recursos hídricos.

Em se tratando da natureza dos dados, sabe-se que os quantitativos são de suma importância, no entanto, para uma análise mais complexa, é conveniente investigar a interrelação entre os números juntamente com os fatores que contribuíram para a determinação dos mesmos, principalmente quando se trata de estudos relacionados à água, dos quais ela também é um elemento associado ao quadro humano, com funções e usos adotados pelo homem.

As pesquisas tradicionais que eram direcionadas principalmente para a obtenção de dados numéricos, basicamente quantitativas, e voltadas para a aplicação de modelos matemáticos, nas quais se destinavam a representar diferentes microambientes e objetivavam conhecer somente a influência de fatores individuais são classificadas por Christofolletti

(1999) como abordagens reducionistas. Todavia, os fenômenos devem ser compreendidos a partir de uma interpretação mais abrangente, em caráter holístico, no qual “o todo possui propriedades que não podem ser explicadas em termos de seus constituintes individuais” (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Logo, sob esta concepção, a avaliação da qualidade das águas não requer apenas pela obtenção de registros numéricos e comparação dos mesmos com que a legislação vigente impõe, é preciso conhecer os fatores interatuantes, uma vez que é a partir da relação entre as partes, que há o surgimento de novas perspectivas, podendo ser compreendidas a partir do arranjo entre os elementos. É, portanto, sob este aspecto e os tantos outros descritos que se baseia a pesquisa.

2) OBJETIVOS

O objetivo geral que permeia a pesquisa é a investigação da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Córrego Sujo (Teresópolis – RJ) com ênfase nos parâmetros inorgânicos, na qual há acentuada aplicação de insumos e defensivos agrícolas, gerando informações para a gestão dos recursos hídricos.

Os desdobramentos do objetivo geral implicam em objetivos específicos, dentre os quais:

- a) mensurar e definir a variabilidade das amostras de águas dos diferentes pontos de amostragem da Bacia Hidrográfica do Córrego Sujo;
- b) comparar os resultados obtidos com a legislação ambiental que determina os padrões de qualidade da água, tomando como referência a Resolução Conama 357/05;
- c) analisar os resultados de qualidade da água juntamente com as variáveis hidrológicas, dentre elas vazão e precipitação;
- d) elaborar o mapa de uso e ocupação do solo, a fim de identificar os impactos antropogênicos na bacia e como a configuração espacial dos elementos interfere nos valores alcançados para as águas superficiais;
- e) realizar análises estatísticas dos dados obtidos.

3) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1) Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos

O ciclo hidrológico pode ser compreendido como um fenômeno, no qual há circulação de água no planeta em decorrência das variações de entrada de energia e modificações do estado físico da água. Summerfield (1991) descreve o mesmo, tomando como princípio a transferência da água para a atmosfera a partir da evaporação dos oceanos e evapotranspiração dos continentes, retornando para a superfície em estado líquido ou sólido sob a forma de precipitação. Com a ocorrência deste último processo descrito, parte da água pode sofrer evaporação 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, 1994). Quando a umidade do solo estiver suficientemente elevada, a água irá percolar lateralmente no solo em direção aos rios através do escoamento superficial (DUNNE & LEOPOLD, 1978).

Nos estudos do ciclo hidrológico, em uma escala de abrangência menor, a bacia hidrográfica torna-se objeto de análise. A mesma pode ser concebida por Coelho Netto (1994) como “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial” e o limite dela pode ser conhecido como divisor de drenagem ou de águas.

Apesar de subsidiarem os estudos ambientais, as bacias hidrográficas ou bacias de drenagem, assim também denominadas, são unidades espaciais que estão sofrendo intenso processo de deterioração. Desta maneira, foi criada a Lei Federal nº 9.433/1997 – que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, marco legal no Brasil que fundamenta os instrumentos para a gestão das águas no país e tem como principal objetivo a articulação da gestão deste recurso com a gestão ambiental. Esta lei vem qualificar a bacia hidrográfica sob uma nova concepção, como sendo uma unidade territorial de planejamento.

Para Lanna (1995), este entendimento como unidade de planejamento é processo de articulação e dos diversos interesses da sociedade, sendo por sua vez, amparado por conhecimentos científicos e tecnológicos, com a finalidade de adequar as necessidades atuais e futuras da sociedade trazendo um desenvolvimento alternativo nesta unidade espacial de planejamento. Portanto, é uma nova perspectiva, que objetiva minimizar os conflitos pelo uso da água através dos Comitês de bacias, bem como trás novas medidas de preocupação com o uso, proteção e conservação deste recurso através do monitoramento periódico.

A presente pesquisa adotará o conceito conforme Magalhães Jr. (2011), que concede a “bacia hidrográfica compreende um conjunto ambiental integrado de elementos físicos, bióticos e socioeconômicos inter-relacionados”. Partindo deste princípio, pode-se ter uma visão sistêmica das interações entre o substrato geológico, águas superficiais e subterrâneas, clima, vegetação e uso do solo.

Johnson *et al.*(1997) afirma que a comunidade científica vem crescentemente se atentando para as relações existentes entre a as características da bacia de drenagem e a composição química da água dos rios, reconhecendo a importância dos arranjos espaciais bacia que causam ou modulam as condições encontradas no interior do canal.

Desta forma, a definição de bacia vem sendo ampliada, observando não somente os aspectos hidrológicos, mas passando também a englobar a estrutura biofísica das bacias, assim como as mudanças ocorridas nos padrões de uso do solo. A partir dessa premissa, é possível compreender como os fatores físicos influenciam na quantidade e na qualidade da água que chega aos corpos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997) determina o enquadramento das águas, como uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, visto que a água se classificará diante do uso preponderante que se faz da mesma, em um dado ponto amostral do respectivo manancial. Este enquadramento visa assegurar a qualidade de água de acordo com os usos na qual forem destinadas, e ainda, mitigar os custos de poluição, mediante algumas medidas preventivas permanentes. Esta política também dispõe que a legislação ambiental deverá estabelecer as classes dos corpos hídricos e as agências de água (no âmbito de sua atuação) ficarão responsáveis para delegar aos comitês de bacia o enquadramento das classes de água conforme o seu respectivo uso.

Com efeito, a Resolução Federal nº 357/2005 (que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes) que sucedeu a Política Nacional de Recursos Hídricos procurou estabelecer esta classificação, passando as agrupar em doces, salinas e salobras, a partir de suas classes distintas. Além disto, esta resolução estabeleceu para cada classe, os padrões com os valores máximos permitidos para cada parâmetro que pode ser encontrado na água.

Sendo assim, as águas doces são classificadas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ e ainda podem ser subdivididas em cinco classes de acordo com o seu uso, como observado na tabela 3.1, perpassando desde o consumo humano à harmonia paisagística.

Mota (1997) acrescenta que, “a água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades humanas”, sendo assim, o enquadramento auxilia para um adequado programa de avaliação da qualidade das águas, visto que, avalia os parâmetros, com os seus máximos valores permitidos, conforme o uso que é feito deste recurso.

O Estado do Rio de Janeiro não contempla ainda uma legislação específica que estabelece uma classificação dos corpos hídricos e seus respectivos enquadramentos, para tanto, utiliza-se a resolução Conama nº 20/86, na qual afirma que se os enquadramentos ainda não foram feitos, é necessário considerar as águas doces como classe II.

Porém, alguns estudos sobre a qualidade de água da bacia do Córrego Sujo, já apontam para algumas possíveis classificações. Na pesquisa de Oliveira (2007) foi feita a investigação dos parâmetros orgânicos, inorgânicos, metais e físico-químicos da água, devido ao tipo de ocupação da bacia e as práticas agrícolas desenvolvidas, há intensa utilização de pesticidas na agricultura, contribuindo para que a autora enquadrasse os mananciais do Córrego Sujo como Classe III da resolução Conama 357/2005.

Já Nunes (2011), investigou as águas utilizadas para a irrigação de alface e constatou que, as mesmas estão impróprias para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas, visto que o número de coliformes termotolerantes excedeu o limite máximo estabelecido pela referida legislação.

Tabela 3.1: Classificação das Águas Doce (Resolução CONAMA Nº 357/2005)

Classes	Destinação
Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 01	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274, de 2000; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Classe 02	<p>Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</p> <p>Proteção das comunidades aquáticas;</p> <p>Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274, de 2000;</p> <p>Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</p> <p>Aqüicultura e à atividade de pesca.</p>
Classe 03	<p>Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</p> <p>Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</p> <p>Pesca amadora;</p> <p>Recreação de contato secundário;</p> <p>Dessedentação de animais.</p>
Classe 04	Navegação; Harmonia Paisagística

3.2) Qualidade da água e uso do solo

A qualidade da água é um poderoso instrumento para a interpretação da qualidade ambiental, visto que se faz necessário conhecer as fontes de poluição, 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. Logo, as alterações nas áreas adjacentes ao corpo hídrico refletirão na qualidade ambiental, através das modificações físicas, químicas e biológicas da água.

De acordo com Almeida & Schwarzbald (2003) existem dois fatores que interferem na qualidade da água, são eles: o sazonal e o espacial. O primeiro diz respeito às variações ocorridas na pluviosidade e a vazão do rio. Já o segundo, relaciona-se com o arranjo espacial, ou seja, a localização geográfica dos usos impactantes, como os centros urbanos e áreas agrícolas, que apontam para baixos valores de qualidade da água.

Desta forma, a agricultura é a atividade responsável por utilizar maior quantidade de água doce (aproximadamente 70%), e por sua vez, também causa maiores danos aos corpos

hídricos, como as águas superficiais e subterrâneas, em função dos poluentes que atingem as mesmas.

As fontes de poluição podem ser subdivididas em pontuais e não pontuais. A primeira representa os lançamentos que os corpos d'água recebem, sendo de forma concentrada e possível de serem identificados e controlados, como por exemplo, as redes de esgoto e efluentes industriais. Em contraste, as fontes não pontuais, também conhecidas como “fonte de poluição difusa”, nos quais os poluentes não possuem um ponto fixo de entrada no curso hídrico, são transportadas pelo escoamento superficial, apresentando maior dificuldade de serem identificadas, mensuradas e controladas. Estão presentes em áreas agrícolas ou de pastagens, mais comumente representadas pelos pesticidas, nutrientes e contaminantes orgânicos (ONGLEY, 1996).

Alvarez *et al.*(1996) salienta que a matéria orgânica é essencial para fornecer os nutrientes necessários para a fertilidade do solo. No entanto, em áreas agrícolas não há essa compensação, fazendo-se necessário a aplicação dos insumos (em quantidades cada vez maiores), a fim de corrigir a acidez do solo, possibilitando o desenvolvimento dos vegetais, bem como para suprir as necessidades do mercado.

Desta forma, Alloway *et al.* (1997) demonstrou que as impurezas contidas em fertilizantes são responsáveis pela dispersão de Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, já as que estão nos pesticidas disponibilizam para o meio Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn.

Para Baird (2002) esses contaminantes podem ser transportados adsorvidos às partículas de argila, provindas de processos erosivos, aumentando sua concentração ao sedimentarem. Desta forma, do chegarem aos corpos hídricos como poluentes difusos através do escoamento superficial, causam inúmeras implicações para a saúde humana e disfunções nos ecossistemas.

A presença de nitrogênio e o fósforo, por exemplo, viabiliza a ocorrência da eutrofização, e por seguinte, a proliferação de algas e aumento da turbidez (impedimento da entrada do feixe de luz na água), contribuindo assim, para a diminuição da quantidade de oxigênio disponível na água e mortalidade de espécies aquáticas (BRAGA *et al.*, 2005; TELLES & DOMINGUES, 2006; TILMAN *et al.*, 2002).

Tilman *et al.* (2002) aborda em seus estudos sobre o uso crescente destes insumos agrícolas e dos seus impactos para os recursos hídricos e para o meio ambiente como todo, como a ocorrência dos efeitos supracitados. Na figura 3.1, o autor apresenta um gráfico que demonstra a quantidade global do uso dos fertilizantes de nitrogênio e fósforo ao longo dos anos (excluindo a antiga União Soviética – URSS), bem como a área mundial de terra

irrigada. Percebe-se que a partir dos 1960 e 1970, o uso dos insumos foi impulsionado devido, principalmente, ao avanço tecnológico do pós-guerra e Revolução Verde, assim como o consumo de água, que vem acompanhando este crescimento, para subsidiar o cultivo agrícola.

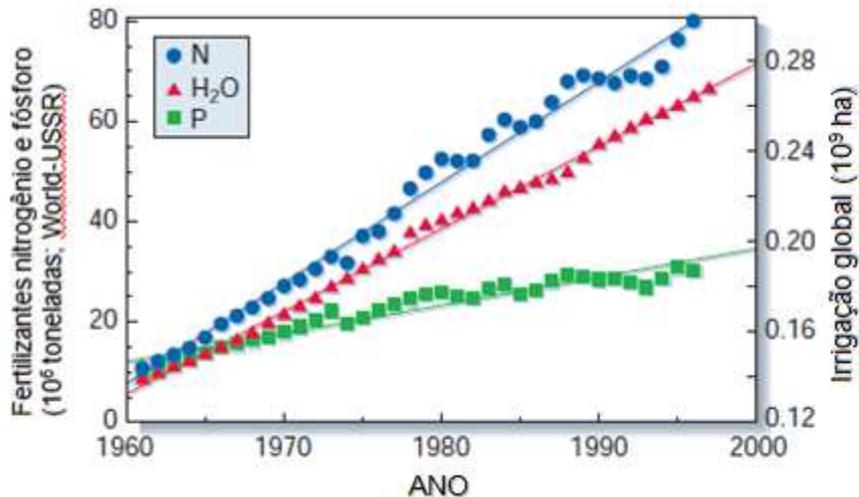


Figura 3.1: Uso crescente de fertilizantes e áreas irrigadas globalmente (Tilman *et al.*, 2002)

Outro impacto provocado na água, devido ao uso do solo pela agricultura, é a irrigação. Segundo Oliveira & Coelho (2000), da área cultivada mundialmente, 1/6 utiliza-se da irrigação. Ao longo de sua utilização, sérios danos problemas podem provocar ao meio ambiente, como a desertificação, erosão do solo e salinização das águas superficiais (FAO, 2012).

O estudo de Antonelli & Roson (2012), realizado nos países do Mediterrâneo, apontam para um uso crescente de culturas de irrigação devido às temperaturas mais elevadas da região e subsídio dado pelos governos. Em reflexo desta política, a escassez da água começou a ser uma preocupação recorrente, sendo apropriado a implantação de um plano de gestão da água que contemplasse formas mais sustentáveis, como: a) redução de perdas do recurso pela irrigação, inserindo técnicas de micro-irrigação; b) utilização da água pluvial para irrigar a safra, minimizando assim, os efeitos de salinização, erosão do solo e desertificação; c) adaptação dos padrões de plantação, de acordo com as condições locais específicas e disponibilidade da água e terra.

3.3) Parâmetros da água em uma perspectiva geossistêmica

Chorley & Kennedy (1971) conceituam o sistema como um conjunto estruturado, constituído de componentes ou variáveis expondo relações uns com os outros, atuando em conjunto como um todo complexo, conforme um determinado padrão.

Summerfield (1991) define o sistema como um conjunto de objetos que estão relacionados uns com os outros e operam juntos como uma entidade complexa e ainda, classifica as bacias hidrográficas como um sistema aberto, com troca de energia e matéria sobre os limites do sistema. O autor acentua que mudanças nos fluxos de matéria e energia, bem como o ajuste da estrutura do sistema são controlados pelas relações entre as variáveis do sistema.

Dentro desta perspectiva, se faz necessário invocar a questão da organização espacial, que conforme Christofolletti (1999) se define por um “sistema funcional e estruturado espacialmente” e expressa ordem e ajustamento entre partes ou elementos que compõem o conjunto. Assim, Christofolletti (1999) salienta que os geossistemas, também denominados de sistemas ambientais físicos, correspondem a organização espacial, que por sua vez resultam da inter-relação dos elementos físicos e biológicos da natureza, como o clima, a topografia, a geologia, as águas, a vegetação, fauna e solos. Em síntese, trata-se das entidades que organizam o meio ambiente.

Nesse sentido, os processos ocorridos no uso do solo ou qualquer alteração nos fatores físicos retratados, fará com que alterações nos recursos hídricos também ocorram em diversas magnitudes. Este tópico tratará destas implicações.

Os fluxos de sedimentos manifestam a funcionalidade hidrológica, assim como a atuação dos processos erosivos nas bacias hidrográficas (Christofolletti, 1999). O material depositado (produzido dos processos de intemperismo das rochas) tende a ser transportado “em direção às zonas representadas por curvas de níveis côncavas, que correspondem aos fundos de vales”, conforme Coelho Netto (1994). Atingido os cursos d’água, esse material pode estar representado sob a forma de carga dissolvida e carga de sedimentos em suspensão, o primeiro é representado pelos constituintes do intemperismo químico, transportado em solução química, estando dissolvidos nos fluxos hídricos, já o segundo, é simbolizado pelas partículas de granulometria menor, como o silte e a argila, que se mostram em suspensão no fluxo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Esse dispersamento se dá através do escoamento superficial, provindo das águas de precipitação ou irrigação, culminando no transporte dos sedimentos, além da matéria orgânica e inorgânica em suspensão.

O fator que contribui para esta ocorrência é a chuva torrencial que acelera os processos erosivos, fazendo com que o material transportado atinja os corpos hídricos, provocando por sua vez, alterações na qualidade de água, com caráter cíclico ou sazonal, como as variações na turbidez, na cor, na concentração de ferro ou de poluentes (BRANCO & ROCHA, 1977).

Segundo Branco & Rocha (1977), os primeiros instantes da água pluvial no solo arrastará muito mais material em solução e em suspensão do que os momentos seguintes, devido a maior concentração de materiais desagregados e detritos presentes. Guerra (1994) acrescenta que, a quantidade de perda do solo, resultante do escoamento, será em função da velocidade e turbulência do fluxo.

Guerra (1994) ainda comenta que, a textura do material afeta a erosão, uma vez que determinadas frações granulométricas são removidas mais facilmente que as outras, e as partículas que são transportadas pelas águas da chuva, dependem do grau de desagregação das rochas. Poesen (1981) *apud* Guerra (1994) indica que o teor de areia apresenta o maior índice de erodibilidade no solo, contudo as argilas são mais difíceis de serem removidas, principalmente quando estão agregadas umas as outras, indicando que quanto maior for a aderência dessas partículas, menor capacidade de deslocamento ocorrerá.

O solo sendo composto de partículas mineralógicas e de grande quantidade de nutrientes, como os orgânicos de natureza coloidal, contribui para garantir o desenvolvimento da agricultura. E ainda, por possuir uma estrutura porosa o mesmo consegue absorver uma grande quantidade de água, impedindo que o escoamento ocorra. Contudo, quando esta camada superficial é removida, devido principalmente ao remanejamento do subsolo em função da mecanização das lavouras, menor é a capacidade de infiltração, diminuindo o teor de nutrientes e matéria-orgânica disponível, visto que esse material particulado é arrastado em suspensão para os mananciais.

Cabe retratar também o papel da vegetação que contribui para que as partículas presentes superficialmente no solo não sejam erodidas e arrastadas. Branco e Rocha (1977) referem-se a as plantas rasteiras, que atuam como “barreira física” ao transporte de materiais e reduz a velocidade do escoamento da água, aliado a este fato, um sistema radicular com uma infinidade de filamentos se aderem ao solo, conferindo solidez à estrutura do mesmo,

aumentando a porosidade. A cobertura do dossel das árvores e as folhas também interceptam a precipitação e amortecem o impacto da chuva, que passam a não atingir diretamente o solo.

Cabe adicionar que, a estrutura vegetal ao exercer a transpiração contribui para o “secamento” do terreno mais rápido após uma chuva torrencial, reduzindo a quantidade de água que iria atingir o canal.

Já as matas ciliares ou remanescentes próximos ao leito do rio também exercem influência na proteção dos corpos hídricos contra os sedimentos e demais partículas contaminantes. Sem as mesmas, o acesso destas partículas que chegam à água é facilitado, promovendo, sobretudo, a turbidez.

Por último, deve-se acrescentar que as condições litológicas exercem forte influência na alteração da composição da água, devido às reações que são promovidas a partir do contato com os minerais e lixiviados. Hounslow (1995) faz algumas contribuições sobre tal assertiva, afirmando que a qualidade da água subterrânea reproduz a composição mineralógica das rochas, em função de ambas estarem em contato e a água adquirir esses componentes através da diluição.

Da mesma forma que a dissolução das rochas em contato com a água passa a definir a qualidade natural da água, as partículas em suspensão ou materiais dissolvidos quando chegam na água, providas de carreamento, passam a alterar as características físicas deste recurso, sendo possível visualizar este processo, como a modificação da cor, dentre outros aspectos.

Desta maneira, a qualidade da água vai refletir a constituição mineralógica do terreno, o uso que está sendo feito no solo, as atividades que estão sendo desenvolvidas no entorno, mal uso e falta de conservação dos elementos externos do manancial podem gerar problemas como o assoreamento em rios, reduzindo sua capacidade de acumulação, elevando a sua turbidez, concentração de metais pesados, dentre outros, causando a depleção dos recursos hídricos.

3.4) Qualidade da água e o programa de monitoramento

Segundo Rebouças (1999) as características de qualidade das águas iniciam-se no seu trajeto atmosférico, através do contato com as partículas sólidas e dos gases atmosféricos dissolvidos a ela, no momento em que há precipitação, sob forma de chuva, neblina ou neve. Esses processos contribuem para a formação de uma solução diluída, com baixos teores de

sais dissolvidos e estando ligeiramente ácidas (apresentando valores de pH variando entre 4 e 6).

Os componentes químicos vinculados à água na atmosfera, que serão dissolvidos, estão associados a dois grupos: a) aqueles que são provindos de partículas primárias presentes na atmosfera (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Cl^-) b) e os derivados dos gases (SO_4^{--} , NH_4^+ e NO_3^-) (REBOUÇAS, 1999).

Meybeck & Helmer (1996) acrescenta que em contato com a superfície, a composição das águas superficiais e subterrâneas irá sofrer outras alterações, devido aos condicionantes naturais como os geológicos, topográficos, meteorológicos, hidrológicos e biológicos, assim como os sazonais, como a vazão e as variações climática naturais.

Além destes fatores, as ações antropogênicas e o uso que se faz do solo interferem na qualidade de água. Essas alterações implicarão na presença de impurezas, podendo ser classificadas de acordo com suas propriedades físico-químicas, sendo elas: a) substâncias completamente dissolvidas na água, caracterizadas pelas moléculas ou íons, sendo possível detectá-las apenas através de análises químicas, não ficando as mesmas retidas na areia e/ou papel nos processos de filtração; b) impurezas que formam sistemas coloidais na água (os colóides estão enquadrados entre as partículas em suspensão e as soluções moleculares, possuem o tamanho de 1×10^{-6} a 1×10^{-4} e são bastante estáveis) que são substâncias praticamente insolúveis em um líquido, não podendo também ser retidas por areia ou filtro de papel, representadas pelas substâncias minerais de origem como SiO_2 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e pelas substâncias orgânicas, além de darem coloração a água como amarelo e marrom; c) por fim, as partículas em suspensão em água, como a areia e material orgânico, que são trazidas do solo pelas águas pluviais, descongelamento da neve, dentre outros, podendo ficar retidas por filtros de papel (VOZNAYA, 1982).

Devido a essas impurezas nos corpos hídricos, se faz necessário à implantação de programas de investigação da qualidade das águas, sendo o monitoramento contínuo da qualidade deste recurso uma importante ferramenta para se conhecer a real situação dos corpos hídricos frente aos impactos humanos na bacia hidrográfica, e “é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos” (REBOUÇAS, 1999).

Para tanto, o programa de monitoramento deve se ater aos seguintes fatores: a) aos padrões espaciais, devido ao fato de que a localização geográfica de indústrias ou áreas agrícolas, por exemplo, impactam diretamente os recursos hídricos; b) as características

sazonais devido às variações que ocorrem na pluviosidade e na vazão dos rios, que passarão a influenciar algumas variáveis, como o pH.

A implantação deste programa pode ser feita objetivando avaliar as características físicas, químicas e biológicas da água, que irão fornecer alguns aspectos importantes, a saber, como as condições de uso, os níveis de contaminações, dentre outras características químicas (VON SPERLING, 2005). Desta forma, a figura 3.2 ilustra os principais parâmetros de avaliação da qualidade da água, os parâmetros físicos englobam os sólidos em suspensão e os gases dissolvidos. Já os constituintes orgânicos e inorgânicos serão incluídos na avaliação química, assim como a fauna e flora contribuirão para os aspectos biológicos da pesquisa.

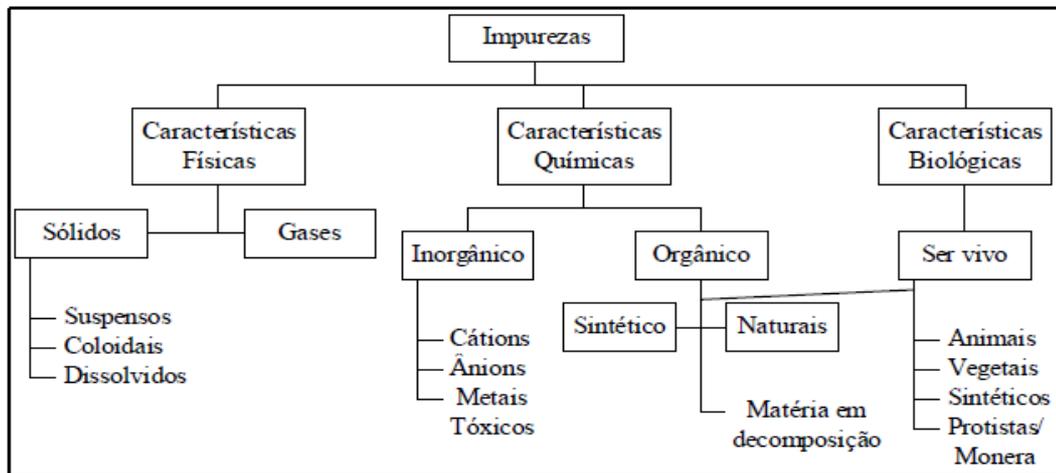


Figura 3.2: Parâmetros de qualidade de água no programa de monitoramento (HADDAD, 2007 *apud* VON SPERLING, 2005).

Os elementos elencados para a avaliação de águas de efluentes líquidos, por exemplo, se diferenciam daqueles utilizados para águas superficiais de rios. Portanto, em um programa de monitoramento não é necessário a avaliação de todos eles, a escolha dos mesmos depende do objetivo de análise e das condições das águas.

Assim, o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos é uma importante ferramenta para se conhecer a real situação dos mesmos frente aos impactos humanos na bacia hidrográfica, e “é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos” (REBOUÇAS, 1999).

3.5) Parâmetros químicos, físicos e físico-químicos monitorados na pesquisa

3.5.1) Alumínio

O alumínio é um dos metais mais abundante da crosta da Terra e a concentração de íons deste elemento ocorre em pequenas concentrações nas águas naturais, devido ao contato com rochas, minerais e argilas (BAIRD, 2002), podendo ser encontrado também em combinação com outros elementos como o oxigênio, silício e flúor (ATSDR, 2011).

Este elemento pode ser liberado para o ambiente por processos naturais, em especial o intemperismo, e vários fatores influenciam a mobilidade do alumínio e seu transporte subsequente, como os fluxos hidrológicos, a interação solo-água e a composição de materiais geológicos subjacentes (FAWELL, 2010).

Em águas naturais, a concentração de alumínio pode variar significativamente dependendo de fatores físicos- químicos e mineralógicos. As concentrações de alumínio dissolvido em águas, com valores aproximados de pH neutro, variam na faixa entre 0,001 – 0,005 mg/L. Já em águas ácidas ou rica em matéria orgânica esses valores podem atingir 0,5 – 1 mg/L (FAWELL, 2010).

3.5.2) Cálcio e Magnésio

Conforme Schlesinger (1997) os cátions mais abundantes na água são o cálcio (Ca^{2+}), o sódio (Na^+), o magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e o amônio (NH_4^+), e ainda acrescenta que os elementos Ca, Mg e K em águas de rios são derivados do intemperismo das rochas.

Corroborando Baird (2002), o índice de dureza pode ser a medida de certos cátions importantes que estão presentes em águas naturais, e este índice mede a concentração total dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} sendo, portanto, os dois compostos que são responsáveis pela dureza da água. Ainda segundo o autor, grande parte do composto cálcio que entra na água é devido ao calcário (CaCO_3) ou devido aos depósitos minerais CaSO_4 , e a causa do magnésio na água é o calcário “dolomítico” – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Logo, a água é caracterizada como “dura” se está concentrada de íons de cálcio e/ou magnésio.

De acordo com Branco (1983) a dureza na água resulta principalmente do substrato geológico em que a água está sob influência. Este parâmetro pode variar também em decorrência dos sedimentos que são carregados pela erosão.

3.5.3) Condutividade elétrica

Expressa a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, dependendo dos sais, das concentrações iônicas presentes e da temperatura. É considerada uma medida indireta da concentração de poluentes e níveis excedendo a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indica ambientes impactados.

3.5.4) Ferro

O ferro contido na água é fornecido pelos solos e rochas, sendo o elemento de maior concentração (EPA, 2011). Em conformidade com Libâneo (2008) a oxi-redução deste metal em solos tropicais, é um processo químico, visível, e em áreas contendo Fe em abundância pode ocorrer a precipitação do mesmo sobre a lâmina d'água.

A forma dissolvida Fe^{2+} pode apresentar algumas características como o efeito de corrosão, aparentar cor de ferrugem, conter sedimentos, ter gosto metálico, coloração avermelhada ou alaranjada, além de contribuir para a disseminação de bactérias e permitir incrustação (LIBÂNEO, 2008; EPA, 2011)

3.5.5) Manganês

A ocorrência deste metal pode ser encontrada em alguns tipos de rochas. O manganês puro não tem ocorrência natural, ele geralmente está associado ao carbono, a fim de promover os componentes do manganês orgânico, que incluem os pesticidas (ATSDR, 2011). As concentrações deste elemento em águas doces superficiais, em geral, contêm valores abaixo que 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ ou 1,0 mg/L , em geral, apresenta quantidades menores ou iguais a 0,2 mg/L (WHO, 2001; CETESB, 2009).

Ainda de acordo com a Cetesb (2009), o manganês pode desenvolver uma coloração negra na água e manifestando-se nos estados de oxidação Mn^{+2} (mais solúvel) e Mn^{+4} (menos solúvel). Em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005 o teor máximo de manganês é de 0,1 mg/L para as águas de classes 1, 2 e para as águas de classe 3 é de 0,5 mg/L .

3.5.6) Oxigênio dissolvido (OD)

É essencial para a sobrevivência da maioria dos organismos macroscópicos na água, incluindo alguns microscópicos, tais como as bactérias aeróbicas e outros microrganismos, que são os responsáveis pela degradação de poluentes na água e utilizam o oxigênio para realizar tal função (RUMP, 1999).

Em consonância com Von Sperling (2005), o OD origina-se a partir da dissolução do oxigênio atmosférico, fornecido pelos organismos fotossintéticos e sua solubilidade varia de acordo com a altitude e temperatura. Ao nível do mar, em uma temperatura de 20°C, a concentração de saturação é de 9,2 mg/L, teores mais elevados que a saturação apontam para a presença de organismos fotossintéticos e matéria orgânica, como os efluentes líquidos, a passo que, valores entre 4 - 5 mg/L de oxigênio dissolvido já simbolizam morte dos peixes.

3.5.7) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico é uma relação numérica que diz a respeito do equilíbrio entre íons de hidrogênio e hidroxilas disponíveis na água, contribuindo para a avaliação numérica do grau de acidez ou alcalinidade do meio hídrico. A água pode ser classificada como sendo neutra (equilíbrio entre os dois compostos), ácida (maior concentração de hidrogênio) ou alcalina/básica (predomínio da oxidrila), em função da concentração de íons de hidrogênio e oxidrilas presentes na massa líquida (BRANCO, 1983).

Esse parâmetro demonstra que a água pura é neutra, com o valor equivalente a 7, porém, quando químicos são despejados na água, a mistura pode se tornar ácida ou básica (EPA, 2011).

3.5.8) Potássio

Este elemento é essencial aos seres vivos (vegetais e animais), assim como aos seres humanos e possui baixas concentrações em águas naturais, uma vez que as rochas que compõe tal elemento são resistentes ao intemperismo (CETESB, 2009). Todavia, sua presença em águas doces na forma iônica, também pode ocorrer pelo carreamento de solo, visto que sais de potássio são amplamente utilizados em fertilizantes usados na agricultura.

3.5.9) Temperatura

Constitui a medida da intensidade de calor, é um parâmetro importante, pois influi em algumas propriedades da água como a densidade, a viscosidade e o oxigênio dissolvido, apresentando também reflexos sobre a vida aquática. A temperatura em águas superficiais pode variar conforme a localização geográfica e o clima (MOTA, 1997).

As alterações que ocorrem na temperatura podem ser consideradas normais no regime climático e nos corpos de água naturais, nas variações sazonais e diurnas, bem como na estratificação vertical da massa líquida. Contudo, a elevação acentuada da temperatura aquática é provocada por despejos industriais e usinas termoelétricas. (CETESB, 2009).

3.5.10) Turbidez

Este parâmetro conceitua-se como sendo o grau de impedimento do feixe de luz ao atravessar uma amostra de água, em consequência da presença de sólidos em suspensão, como constituintes inorgânicos (areia, silte, argila, ferro e manganês), assim como os detritos orgânicos exemplificados pelas algas, bactérias, plâncton, dentre outros, apresentando uma aparência turva à água. O aumento da turbidez decorre da erosão das margens dos rios, principalmente nas estações chuvosas, bem como ao uso do solo indevido (CETESB, 2009).

4) ÁREA DE ESTUDO

4.1) Localização

A bacia do Córrego Sujo está localizada no distrito de Venda Nova, no município de Teresópolis – RJ, compreendendo uma área de 53,5 Km² (figura 4.1). Está inserida no retângulo de coordenadas 22°15' - 22°10' S e latitude e 42°55' – 42°45' W de longitude (UTM: 0720000/7534000 e 0720000/7546000), atingindo uma altitude média de 870m. A respectiva bacia comporta nove sub-bacias e é classificada como de terceira ordem, de acordo com o método de hierarquização de Strahler, empregando-se as cartas topográficas de Teresópolis e Anta na escala de 1: 50.000, elaboradas pelo IBGE.

As cabeceiras de drenagem estão situadas entre os municípios de Teresópolis e Nova Friburgo, dentre elas, a bacia do Córrego Sujo, “sendo seu rio principal o tributário direto do Rio Preto, que por sua vez drena para o rio Paquequer e este finalmente para o rio Paraíba do Sul” (BARRETO, 2005).

O órgão gestor vigente é o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha, que foi aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos e instituído em 14/09/2005 (CEIVAP, 2011).

4.2) Aspectos físicos

4.2.1) Clima

De acordo com os dados das “Normas Climatológicas do Brasil 1961 -1990” desenvolvido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o clima do município de Teresópolis possui uma média anual de temperatura de 17,7° C. A figura 4.2 representa a temperatura média compensada dos doze meses para a série temporal de 1961 a 1990, com valores em torno de 20° C durante a estação de verão e por volta de 16° C durante o inverno.

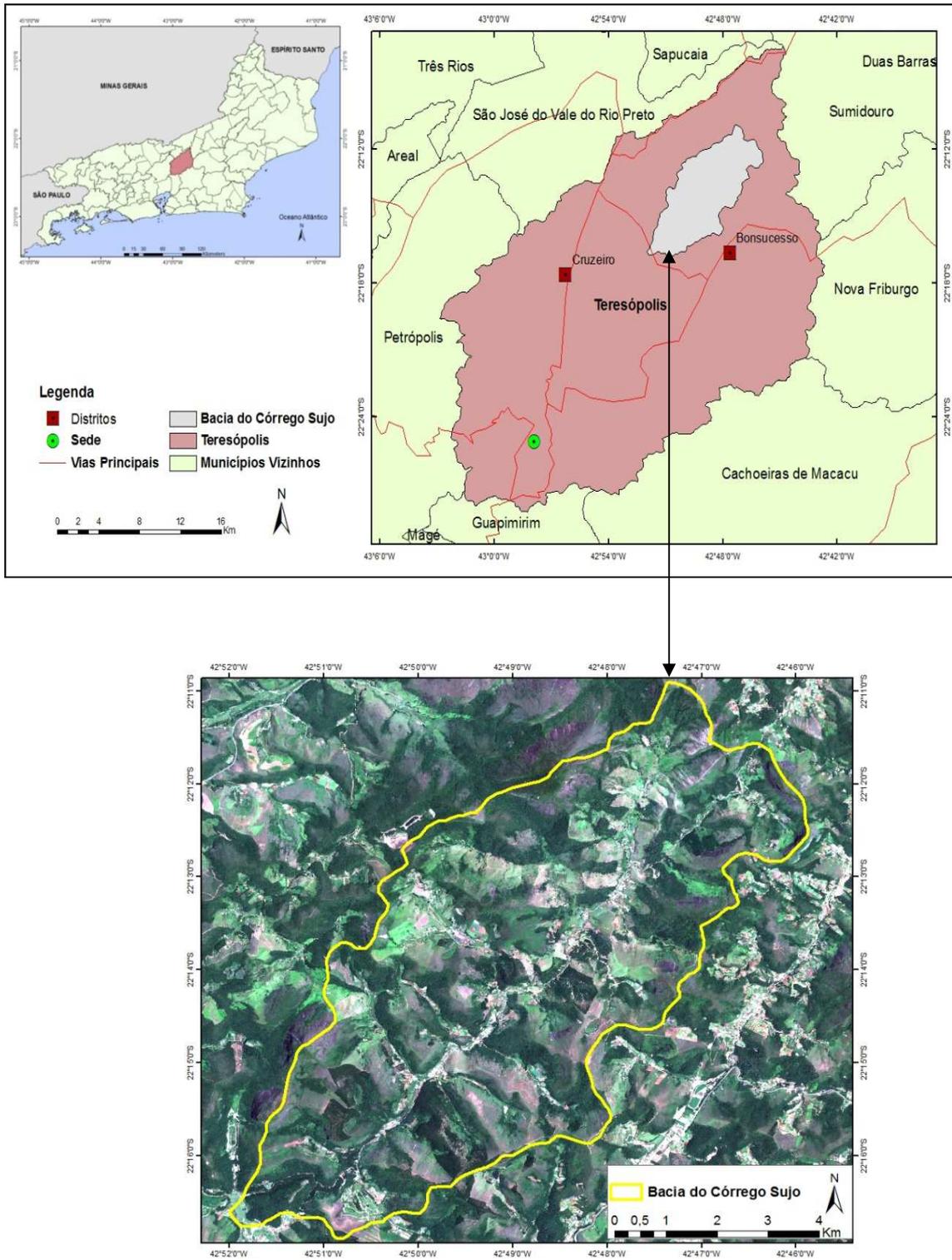


Figura 4.1: Mapa de localização da bacia do Córrego Sujo

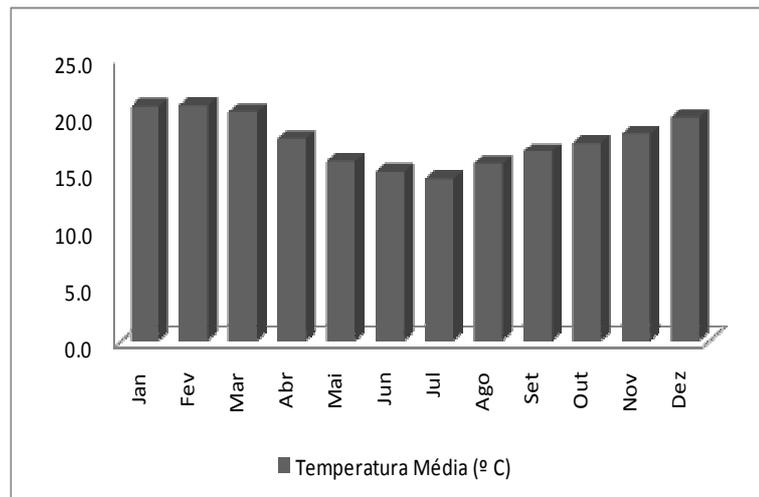


Figura 4.2: Temperatura média compensada de Teresópolis, entre os anos de 1961-1990. Fonte: INMET (2009).

Com relação à precipitação, observa-se o predomínio de chuvas entre os meses de outubro a março, compreendendo a estação chuvosa e um período de menor incidência de chuvas entre os meses de abril a setembro, conforme a figura 4.3.

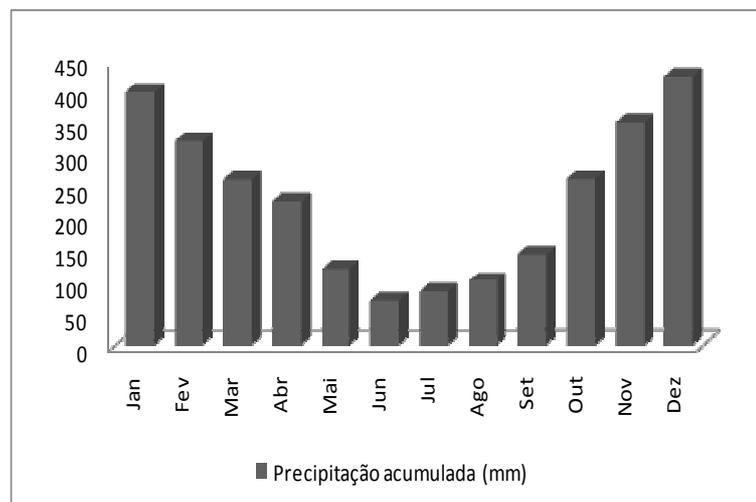


Figura 4.3: Precipitação acumulada de Teresópolis, entre os anos de 1961-1990. Fonte: INMET (2009).

A sazonalidade local constitui-se um fator essencial para os estudos de qualidade da água, visto que a alteração climática interfere nos parâmetros inorgânicos, principalmente no que tange às respostas hidrológicas no período chuvoso. Considera-se que há transporte de partículas de solo e solúveis dispersos na bacia hidrográfica, influenciando as condições geoquímicas da água.

4.2.2) Geologia

No Projeto Rio de Janeiro (SILVA & CUNHA, 2001) foi realizado também o levantamento geológico do município de Teresópolis, na escala 1: 500.000, observa-se que a bacia de estudo se localiza geologicamente na Unidade Serra dos Órgãos, apresentando a seguinte composição: “hornblenda - biotita granitóide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica, composição cálcio - alcalina”. Com relação as texturas e estruturas podem ser agrupadas como magmáticas preservadas, apresentando foliação tangencial em estado sólido superimpostas. E ainda, podem ser observados enclaves de paleodiques anfíbolíticos localmente (SILVA & CUNHA, 2001).

4.2.3) Caracterização geomorfológica

O mesmo projeto citado (escala 1: 250.000) desenvolvido pela Dantas (2000), indica que a caracterização geomorfológica da região do município de Teresópolis é representada por como um conjunto de escarpas montanhosas festonadas, alinhadas na direção WSW – ENE. O relevo é montanhoso, acidentado, com vertentes predominando de retilíneas a côncavas, havendo ainda vertentes escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Há ocorrência de morros, em seções alveolares nos vales principais e amplitude topográficas superiores a 400m.

O planalto reverso da Região Serrana possibilitou a ocupação humana e no caso de Teresópolis os sítios urbanos se assentaram nos alvéolos intramontanos na bacia do rio Paquequer. Do mesmo modo, houve o desenvolvimento da agricultura na região que se deu nos fundos de vales e em baixas encostas dos relevos menos acidentados nos vales dos rios tributários (SILVA, 2000), conforme figura 4.4.



Figura 4.4: Geomorfologia e desenvolvimento da agricultura nos fundos de vale da bacia do Córrego Sujo, Teresópolis.

4.2.4) Solo

Com relação aos solos de Teresópolis há predomínio dos cambissolos, encontrados associados com os latossolos vermelho amarelo, nas áreas de relevo montanhoso e fortemente ondulado. Já nas áreas de relevo mais acidentado pode-se encontrar a associação dos cambissolos juntamente com os Neossolos litólicos e afloramentos de rocha segundo a EMBRAPA (1999). Contudo, Costa *et al.* (1998) salienta que em áreas de várzea podem-se encontrar os Gleissolos e Neossolo Flúvico.

Já no levantamento de solo desenvolvido por Oliveira (2007) na bacia do Córrego Sujo foram identificadas as seguintes classes de solo: Latossolo Bruno Distrófico (perfil de solo número 01 da figura 4.5), Cambissolo Háptico tb Distrófico (perfil número 02 da figura 4.5), Neossolo Flúvico tb Distrófico, Neossolo Litólico Eutófico (representado pelo perfil de solo 03, da figura 4.5), Chernossolo Argilúvico Órtico (perfil número 04, da figura 4.5) e Argissolo Acizentado Distrófico.



Figura 4.5: Solos identificados na bacia do Córrego Sujo. Fonte: Oliveira (2007).

Cabe ainda acrescentar, os estudos desenvolvidos por Menezes (2009) que objetivava avaliar as perdas de solo na bacia do Córrego Sujo. Para tal, utilizou ensaios de Inderbitzen e com a finalidade de correlacionar essas perdas com os processos de infiltração e escoamento superficial. O autor implantou em quatro diferentes tipos de uso do solo (agricultura convencional, permacultura, pastagem e floresta) quatro parcelas hidro-erosivas do tipo Gerlach com 5 m x 2 m (figura 4.6), a fim de estimar a taxa de infiltração e escoamento superficial. Contou-se também com o auxílio de quatro pluviômetros para a determinação da precipitação. Com os dados pluviométricos, é possível determinar o valor da infiltração, através da diferença da precipitação pelo escoamento superficial (COELHO NETTO, 1994).

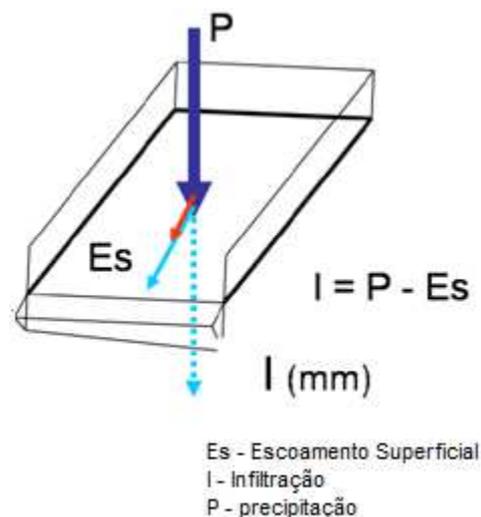


Figura 4.6: Parcela de escoamento Gerlach (BRUM, 2009)

Como resultado deste estudo, Menezes (2009) constatou que as maiores perdas de solo se encontram na parcela da agricultura convencional, sendo obtido um valor de 500.000

kg/ha, enquanto que a parcela que apresentou menor perda foi a da floresta, representando cerca de 5 kg/ha. Já os resultados referentes à relação chuva x escoamento superficial concluíram que, na agricultura o escoamento é maior em relação às outras parcelas e que também os volumes de água são elevados, tendo como implicação a baixa quantidade de infiltração no solo (aproximadamente 10% do que choveu no período). O autor mencionado concluiu que, o solo apresentando alta erodibilidade, aliado as elevadas taxas de escoamento superficial, tem-se como consequência o assoreamento dos canais da bacia, contribuindo para a deterioração de sua qualidade.

4.2.5) Vegetação

Anteriormente a interferência antrópica, o município de Teresópolis abrangia o ecossistema Mata Atlântica, representado pelos domínios Floresta Ombrófila Densa, contudo atualmente a vegetação é representada por remanescentes deste tipo de vegetação citado, nas formações Montana e Altimontana, podendo encontrar também vegetação secundária em diversos estágios sucessionais. O desmatamento das áreas florestais se deu em função da expansão das atividades rurais e da urbanização, que tiveram origem no século XX e concentraram-se ao longo dos vales fluviais encaixados, acelerando os impactos causados nos rios e matas ciliares. Devido ao crescimento e valorização do centro urbano, uma parte da população migrou-se para as regiões periféricas, contribuindo para aumentar a pressão antrópica nas áreas localizadas em altas declividades, nas cabeceiras de drenagem e nos remanescentes florestais (BRASIL, 2006).

No entanto, as Unidades de Conservação são os fragmentos que ainda conservam a vegetação no município de Teresópolis, sendo as mesmas representadas na tabela 3.1, subdivididas em categoria de manejo e suas respectivas áreas.

A mata ciliar atua com a função de proteger, filtrar e amortecer os impactos provindos dos ambientes circundantes do ecossistema aquático, conforme Jorgensen e Loffler (1997), assim, a conservação destas matas constitui uma medida mitigadora indispensável, visto que impede que sedimentos, resíduos e defensivos agrícolas atinjam os cursos d' água.

Tabela 4.1: Unidades de Proteção do município de Teresópolis. Fonte: CEPERJ, (2012).

Nome	Categoria	Área (ha)
Área de Proteção Ambiental da Floresta do Jacarandá	Unidade de Uso Sustentável	927,00
Área de Proteção Ambiental do Rio dos Frades	Unidade de Uso Sustentável	3,71
Área de Proteção Ambiental Vale do Paraíso	Unidade de Uso Sustentável	8,59
Área de Proteção Ambiental Vila Muqui	Unidade de Uso Sustentável	0,17
Área de Proteção Ambiental Vista Soberba	Unidade de Uso Sustentável	5,68
ARIE Alto	Unidade de Uso Sustentável	8,24
ARIE Área da Pedra da Tartaruga	Unidade de Uso Sustentável	80,10
ARIE Canoas	Unidade de Uso Sustentável	27,25
ARIE Prata	Unidade de Uso Sustentável	8,59
Parque Estadual dos Três Picos	Unidade de Conservação Integral	46,35
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	Unidade de Conservação Integral	11,00
Parque Natural Municipal Montanhas de Teresópolis	Unidade de Conservação Integral	4,40

Conforme observado em campo, a retirada da mata ciliar em áreas agrícolas se faz necessária para se ter acesso a água para os sistemas de irrigação da produção. Em abril de 2012, o Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA) realizou a dragagem do Córrego Sujo, com a finalidade de desassorear o rio (figura 4.7). No entanto, ao realizar esse procedimento, toda a cobertura vegetal presente nas margens dos rios foi suprimida, acarretando na deficiência de contenção dos processos erosivos, na retenção dos sedimentos, bem como influenciando na qualidade deste corpo hídrico.



Figura 4.7: Desassoreamento do Córrego Sujo com supressão da mata ciliar. Foto: Maria Isabel Martinez (2012).

4.2.6) Uso e ocupação do solo

Nos estudos de Araújo (2009) foi elaborado um mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2008 (figura 4.8) na bacia hidrográfica do Córrego Sujo. Os procedimentos metodológicos para a interpretação do uso e ocupação do solo foram realizados em imagem do satélite Ikonos. A partir de então, constatou-se que a cobertura florestal gradualmente foi sendo substituída por gramíneas e cultivos agrícolas.

Atualmente, há também predomínio de gramíneas. Nos trabalhos de campo verifica-se que a paisagem da bacia hidrográfica apresenta padrões espaciais distintos, compondo um mosaico de fragmentos florestais, áreas de eucalipto e cultivos. A agricultura irrigada desenvolvidos por propriedades familiares (figura 4.9), nas quais empregam intenso uso de insumos químicos e biológicos, tais como Fosmag, calcário, farinha de osso e mamona, dentre outros, como relato pelos agricultores e estudos anteriores de Oliveira (2007) e BRUM (2010).

De acordo com o Plano Diretor de Teresópolis (2006) o município é o maior produtor de hortigranjeiros do estado e o maior fornecedor de olerícolas folhosas para o abastecimento da CEASA/RJ, sendo a bacia Córrego Sujo uma das áreas de maior representação desta atuação.

Mais recentemente, pode-se verificar também a expansão da silvicultura (eucalipto) na região, juntamente com o crescimento das casas de veraneio, como também a implantação de um condomínio de alto padrão residencial na bacia.

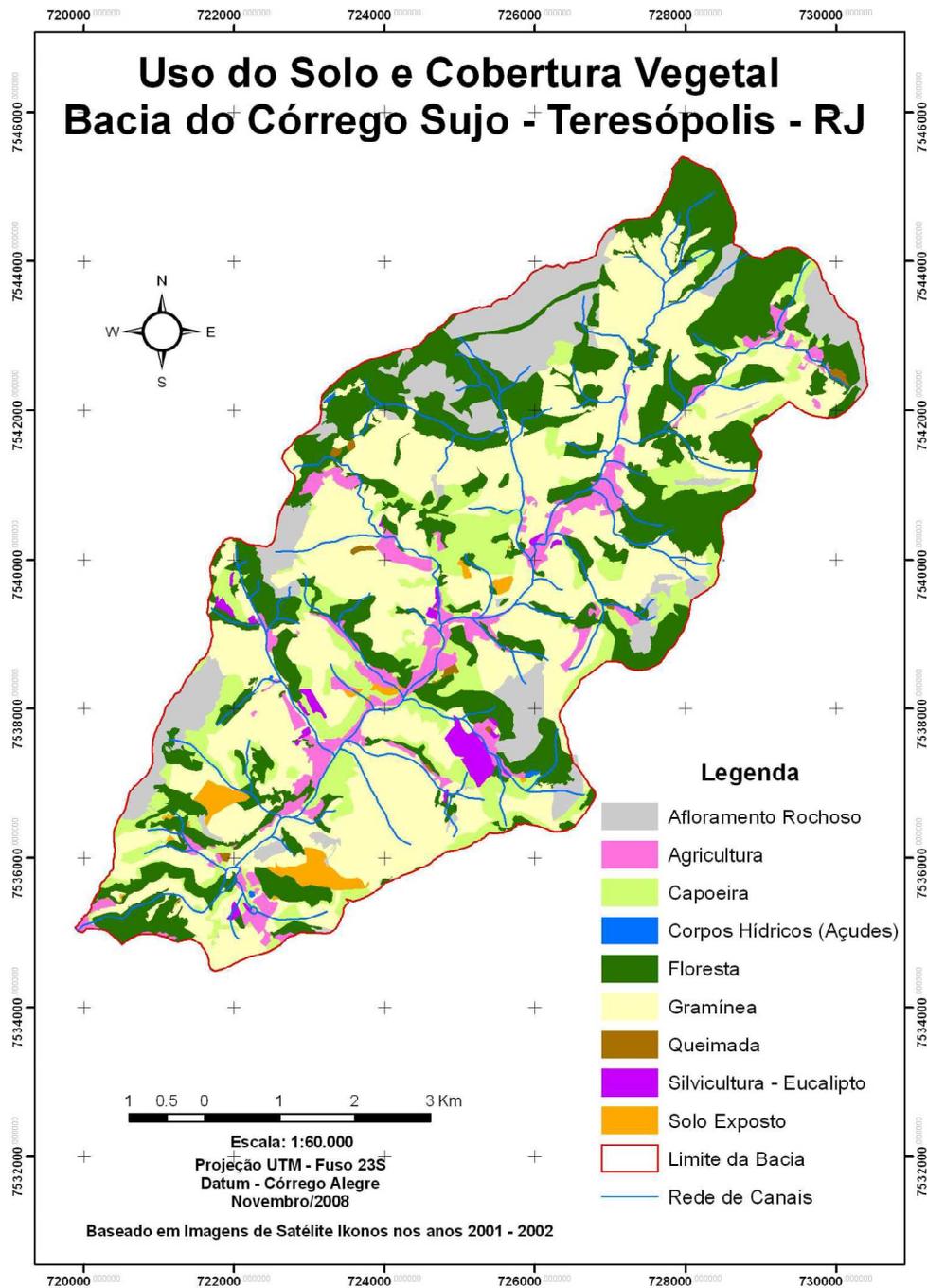


Figura 4.8: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia do Córrego Sujo (Desenvolvido por: Araújo, 2009)



Figura 4.9: Cultivo agrícola irrigado na bacia do Córrego Sujo (BRUM, 2010)

4.3) Aspectos socioeconômicos

Teresópolis abrange uma área de 770,6 Km² e é composto de uma população de 163.746 habitantes (IBGE, 2012). O crescimento da população em Teresópolis foi acompanhado pela evolução econômica ocorrida em todo país nas décadas de 70 e 80, destacando-se na região o desenvolvimento agropecuário. A figura 4.10 destaca esse aumento populacional.

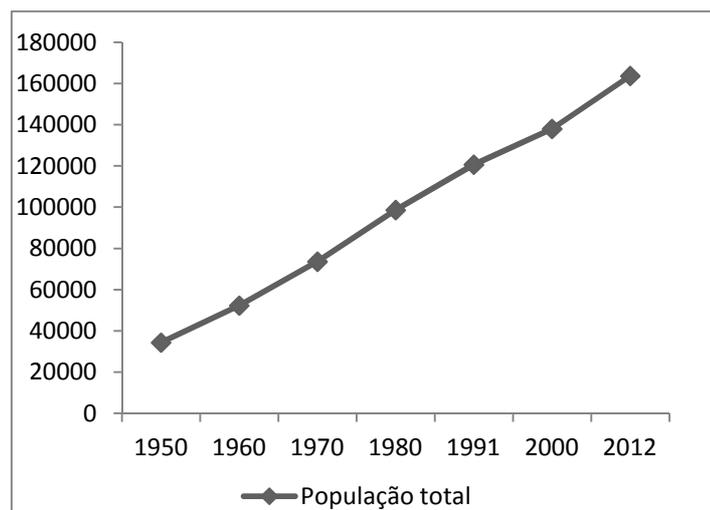


Figura 4.10: População de Teresópolis (1950 - 2012).

Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável, 2006.

O município possui segmentos urbanos que estão distribuídos por todo o território, apresentando níveis diferenciados de urbanização. Já a área rural abriga uma estrutura

fundiária constituída por minifúndios, com pequenos agricultores exercendo a agricultura familiar, sendo que no ano de 2006 haviam aproximadamente 7000 produtores ativos, de acordo com a Secretaria Municipal de Agricultura. No entanto, a agricultura juntamente com a pecuária representam apenas 9% da economia de Teresópolis (Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável, 2006).

Os núcleos agrícolas, juntamente com a população da bacia do Córrego Sujo situam-se nos fundos de vales e em baixas encostas, nas quais o relevo é menos acidentado.

Brum (2010) acrescenta que, a maior parte da produção se concentra em oliculturas (verduras e legumes), havendo também variações de produtos. Para tal, os mesmos são cultivados em fundo de vale acompanhando o curso do Córrego Sujo e seus tributários, utilizando essas águas para a irrigação. Esses diferentes cultivos podem ser visualizados na figura 4.11, juntamente com o número de produtores.

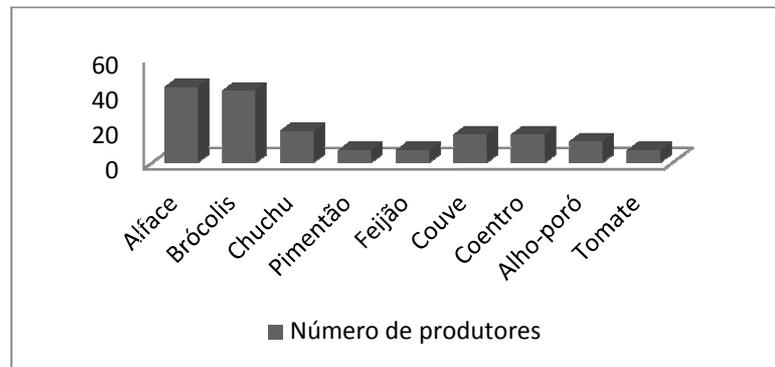


Figura 4.11: Principais olerícolas cultivadas na bacia do Córrego Sujo (BRUM, 2010)

4.4) Usos do solo e água e seus impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos

A pesquisa de Brum (2010) foi identificar quais são os usos que se faz da água na agricultura irrigada na bacia do Córrego Sujo, bem como quantificá-las, podendo desta forma, relacionar disponibilidade e demanda hídrica. Com relação aos usos, foi elaborado e aplicado um questionário junto aos agricultores da bacia.

Desta forma, o autor identificou que a maior parte dos usuários de água se localiza próximo aos canais fluviais e que, ao longo do canal principal da bacia é mais expressivo a retirada de água. Destaca-se assim, a importância que a irrigação tem para a produção agrícola, uma vez que, foram identificados que 96% da produção da bacia está associada à olericultura e que é retirado em média 15.930 m³ de água por dia para a realização de tal atividade. Brum (2010) concluiu que, a agricultura irrigada é a atividade que traz maior impacto na bacia, devido a excessivo volume retirado dos canais.

Nas pesquisas de Oliveira (2007) a proposta de trabalho consistiu na avaliação dos parâmetros orgânicos, físico-químicos e metais das águas superficiais na bacia do Córrego Sujo, assim como a identificação dos solos, conforme supracitado. Desta maneira, a autora agregou o estudo pedológico a sua pesquisa e identificou que em decorrência dos baixos valores de pH e do baixo teor de nutrientes do solo na bacia do Córrego Sujo, o sistema produtivo depende do uso intenso de corretivos e fertilizantes. Aliado a este fator, a produção agrícola é desenvolvida ao longo das planícies de inundação dos canais, na qual a mata ciliar foi suprimida, e apresentando o terreno uma declividade superior a 12 graus, o autor conclui que a poluição dos cursos hídricos é provinda da erosão hídrica.

Neste estudo também foi constatado a contaminação por poluentes organofosforado e organoclorados nas águas superficiais da bacia, devido ao uso dos agrotóxicos. Estes resultados contribuíram para que a classificação das águas nesta bacia fosse enquadrada como classe III, de acordo com a Resolução Conama nº 357/2005.

Nunes (2011) investigou os coliformes termotolerantes presentes na água (utilizada para a irrigação), no solo e na alface. Primeiramente, selecionou pontos que incluíam os açudes, água represada vindas de nascente e água do canal fluvial do Córrego Sujo. Próximo a estes pontos coletou também amostras de alface e solo utilizados para este cultivo. Como resultado, foi visto que as fontes de água utilizadas para a irrigação encontram-se impróprias nos três pontos amostrais, assim como o solo, que apresentou elevada quantidade de coliformes termotolerantes, indicando uma contaminação fecal. É possível atribuir a esses resultados o uso do adubo orgânico, como a “cama de frango”, conseqüentemente, as alfaces mostraram-se também contaminadas por coliformes.

Outros estudos também foram desenvolvidos na região de Teresópolis, como o de Pires (2005) que analisou a qualidade de água do Parque Nacional da Serra dos Órgãos e Parque Estadual dos Três Picos. Os parâmetros analisados foram principalmente metais, ânions, mercúrio e coliformes. Observou-se que 31% das amostras estavam com concentrações além do limite máximo estabelecido pela Resolução Conama nº 357/2005, este fato não se deve à alguma contaminação por despejos de esgotos domésticos ou industriais, visto que essas águas estão em unidades de conservação, mas sim devido ao lixiviamento do solo ou aporte atmosférico. Apesar disso, Pires (2005) apontou que nos locais estudados os recursos hídricos estão em bom estado de conservação, sem ação antrópica significativa, classificando essas águas como classe 1.

5) METODOLOGIA

5.1) Programa de monitoramento hidrológico

O programa de monitoramento hidrológico perpassou pela coleta de água, realizada durante os meses de fevereiro a dezembro, com o intuito de abranger as alterações decorrentes da sazonalidade. Ainda assim, juntamente com esse monitoramento, foi sucedido o procedimento fluviométrico, objetivando obter a variação da altura linimétrica e as vazões em uma seção transversal, completando um ano hidrológico (dezembro de 2011 a dezembro de 2012).

5.2) Monitoramento da qualidade da água

5.2.1) Definição das estações amostrais

Rump (1999) assegura que para estabelecer pontos amostrais, é necessário inicialmente planejar a rede de amostragem, contando com o auxílio de mapas topográficos e mapas temáticos especializados - como os de água subterrânea, geológicos ou hidrológicos. Além disso, deve-se ter como subsídio imagens em fotografias aéreas, sistema de drenagem, dentre outros. Nesse sentido, utilizou-se das cartas topográficas impressas denominadas “Anta” (IBGE, 1974), “Teresópolis” (IBGE, 1983) com escalas de 1:50.000. Juntamente com estas, foi empregada a imagem digital Ikonos dos anos de 2001/2002, com resolução espacial de 1m, e ainda, o mapa denominado de “Uso do Solo e Cobertura Vegetal” elaborado por Araujo (2009).

Além de recorrer aos dados cartográficos, outras fontes de pesquisa também contribuíram para a definição das estações, como os estudos já realizados por Oliveira (2007) e Nunes (2011), que tratavam sobre a mesma abordagem e foram produzidos na mesma bacia, a do Córrego Sujo.

Oliveira (2007) determinou dez pontos de amostragem, são eles: Nascente fragmento F2/David; Lagoa de Irrigação David; Nascente fragmento F3/David; Saída microbacia Fazenda David; Nascente sub-bacia 8 – Japonês; Nascente sub-bacia 9 – Fazenda São Luís; Córrego Sujo jusante Sub-bacia 9 – F. S. Luís; Nascente sub-bacia 7 – Roberto Selig; Nascente Orgânica sub-bacia 7 – RS; Montante sistema agroflorestal – RS; Saída sub-bacia 7

– RS; Córrego Sujo jusante Saída sub-bacia 7 – RS; Exutório Córrego Sujo. Assim, a autora dentro dessa rede de amostragem, selecionou pontos significativos tomados como valores de referência, os background, e os demais referenciavam aos usos antropogênicos. No que tange à Nunes (2011), a sua investigação abrangeu três pontos: Nascente (médio curso da bacia); Açude (alto curso da bacia); Rio (médio curso da bacia).

De acordo com Rump (1999), o local e a periodicidade de coleta das amostras devem ser escolhidos de tal forma que as amostras reflitam a variância local e temporal durante o período da investigação.

Diante destas informações, foi possível estabelecer uma rede amostral (ver tabela 5.1 e figura 5.1), considerando as estações que sofrem influência direta das atividades agrícolas e de outros usos que se faz da terra (P1 – Estação Sorvete; P2 – Ponte CPRM; P3 – Ponte Selig; P5 – Ponte Gilberto; P7 – Tendo; P8 – Rancho B), assim como pontos de coleta em ambiente florestal e de nascente, visando estabelecer o indicador da composição natural da água (P4 – Floresta Selig e P6 – Nascente Tendo).

Para a definição das coordenadas geográficas e dos pontos selecionados, utilizou-se do GPS (*Global Positioning Satellite*), modelo 60 CSx, Garmin, conforme tabela 5.1.

Tabela 5.1: Pontos de amostragem de coleta de água e suas respectivas localizações.

Pontos Amostrais	Coordenadas X (UTM)	Coordenadas Y (UTM)
P1 – Estação Sorvete	0 720 046	7 535 110
P2 – Ponte CPRM	0 723 260	7 537 298
P3 – Ponte Selig	0 725 834	7 540 621
P4 – Floresta Selig	0 725 574	7 540 553
P5 – Ponte Gilberto	0 725 778	7 540 490
P6 – Nascente Tendo	0 729 850	7 542 546
P7 – Canal do Tendo	0 729 860	7 542 551
P8 – Rancho B	0 726 208	7 540 223

Nesse sentido, segue uma breve descrição das áreas amostrais de coleta de água:

- Ponto 1 – Estação Sorvete

Localiza-se no baixo curso da bacia, constituindo seu exutório (é a primeira bacia tributária do Rio Preto). O uso da terra, na área adjacente a estação, é feito pelo cultivo de

hortaliças em estufa e silvicultura, abrigando uma indústria de fabricação de sorvete, juntamente com a estação fluvio pluviométrica.

- Ponto 2 – Estação CPRM

Situado no médio curso da bacia e assim como o primeiro ponto amostral, abriga uma estação fluvio pluviométrica, é permeada pela silvicultura, assim como, por cultivos de hortaliças que se faz no leito do Córrego Sujo. A vegetação das encostas ao redor encontra-se cada vez mais suprimida pela agricultura, assim como a mata ciliar do canal que foi removida.

- Ponto 3 – Ponte Selig

Compõe uma área de cobertura vegetal juntamente com o uso feito pela agricultura. Recebe grande quantidade de sedimentos e detritos provindos da estrada não pavimentada que está localizada ao redor do seu curso e, situa-se no médio curso.

- Ponto 4 – Floresta Selig

Em conformidade com o próprio nome dado a estação, o ponto amostral está localizado em área florestal, afastado de ações antropogênicas e difícil acesso. Foi determinado como o background do estudo, ou seja, como valores de referência, devido ao seu excelente estado de conservação, com a mata ciliar em bom estado de conservação, sofrendo apenas influência da matéria-orgânica em contato com a água.

- Ponto 5 – Ponte Gilberto

Abriga a terceira e última estação fluvio pluviométrica, as encostas são destinadas ao cultivo, assim como toda a área adjacente. Além disto, está situado em uma área à jusante de lavouras, apresentando grande quantidade de contaminação.

- Ponto 6 – Nascente Tento

A nascente tem um caráter perene, apresentando na estação seca uma vazão muito reduzida e situada em alto curso. A mesma está assentada em área à jusante de atividades

agrícolas, das quais o solo é constantemente revolvido e sofre com queimadas em determinadas estações do ano e uso de fertilizantes. Mesmo diante destas influências supracitadas, e seja receptora de grande quantidade de sedimentos, exibe bons resultados referente à qualidade de água.

- Ponto 7 – Canal do Tonto

Este ponto amostral está situado em um dos tributários do Córrego Sujo, é circundado por atividades agrícolas com uso de defensivos, o curso hídrico referente ao ponto amostral é receptor de efluentes líquidos domésticos e grande quantidade de lixo, apresentando em algumas coletas um forte odor. Localizado no alto curso da bacia e adicionalmente na estação seca exibe uma baixa vazão, apresentando-se no nível de base.

- Ponto 8 – Rancho B

O ponto amostral está localizado no Córrego Sujo (médio curso), recebe grandes quantidades de efluentes líquidos domésticos e de derivados da agricultura, assim como sedimentos devido à proximidade com a estrada não pavimentada e as lavouras. O ponto amostral encontra-se bastante assoreado e as águas apresentam odor.

5.2.2) Definição dos parâmetros monitorados

O programa de monitoramento da bacia do Córrego Sujo considerou de natureza relevante doze parâmetros de estudo, sendo seis inorgânicos representados por: Al, Fe, K, Ca, Mn e Mg; três físico-químicos pH, turbidez e condutividade elétrica e dois físicos: temperatura e oxigênio dissolvido. Os cinco últimos foram determinados *in situ*, com a utilização de sensores multiparamétricos portáteis. Na tabela 5.2 seguem os parâmetros mencionados com suas respectivas unidades e demais especificações dos equipamentos empregados.

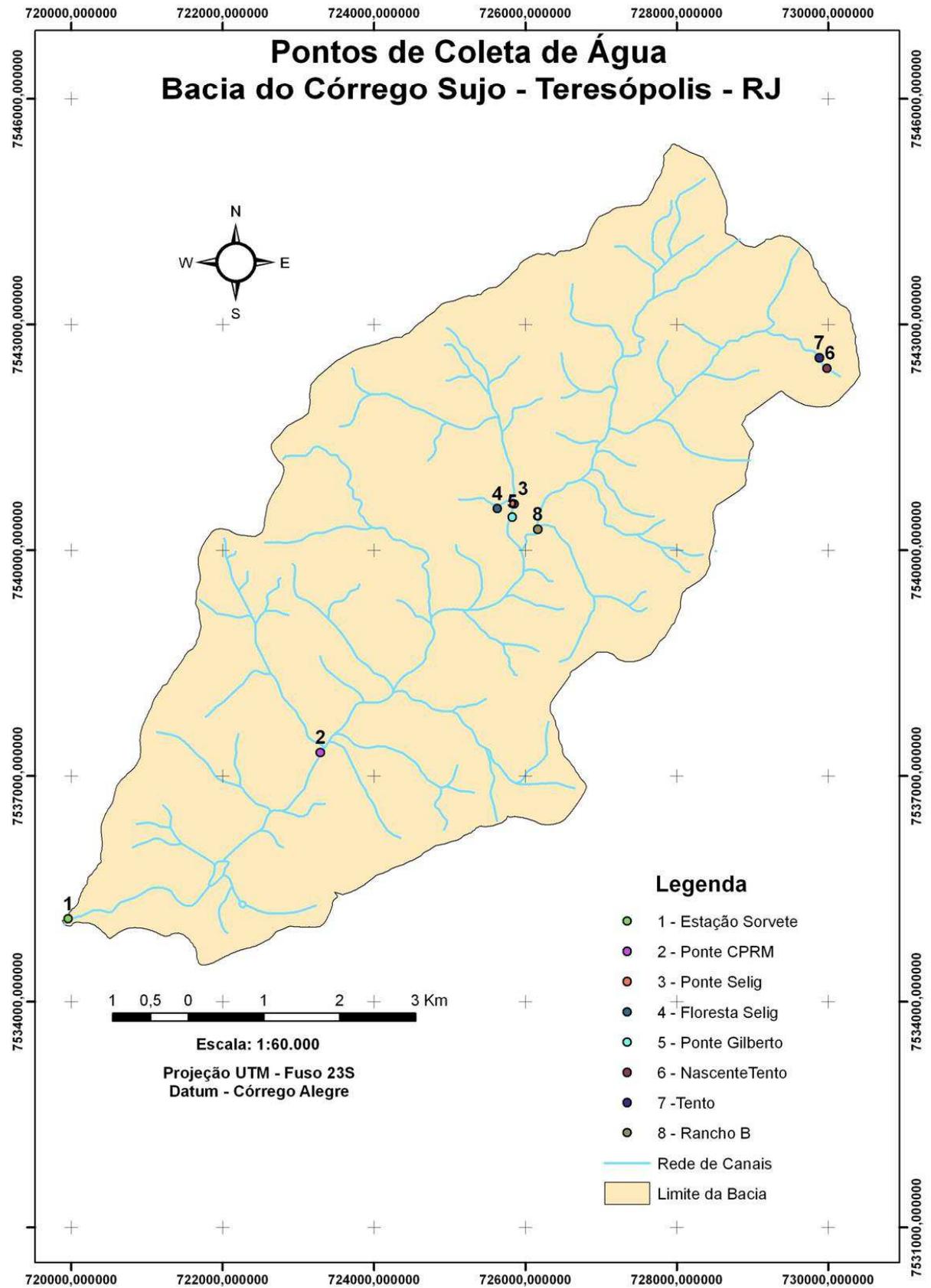


Figura 5.1: Mapa dos pontos de amostragem de coleta de água na Bacia do Córrego Sujo (Desenvolvido por: Ingrid Araújo)

Tabela 5.2: Parâmetros adotados na pesquisa e os equipamentos utilizados

Parâmetro	Unidade de Medida	Equipamento	Marca	Modelo
Condutividade Elétrica	µs/cm	Condutivímetro	Hack	HQ40d
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	Oxímetro	Hack	HQ40d
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	Peagâmetro	Hack	HQ40d
Temperatura da água	°C	Peagâmetro	Hack	HQ40d
Turbidez	UNT	Turbidimêtro	Hanna	HI 93703C

Com o intuito do Laboratório de Geohidroecologia (GEOHECO)/Geografia – UFRJ processar as próprias amostras de água foi montada uma bancada para análises geoquímicas a fim de desenvolver tais atividades. Logo, os parâmetros químicos foram realizados na sede do novo laboratório, no recente equipamento adquirido denominado espectrofotômetro DR 5000 UV/visível da marca Hack.

Todavia, devido ao caráter experimental da utilização do equipamento, foram feitas, concomitantemente, as análises de água no mês de fevereiro no Laboratório de Química (Geoquímica – UFF), e com relação aos demais meses, as análises foram realizadas no Laboratório de Desenvolvimento Analítico (LaDa) – Instituto de Química/UFRJ, sendo que ambos utilizaram-se do equipamento espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES), marca Thermo Scientific, modelo iCAP 6300.

5.2.3) Descrição e metodologia empregada nos trabalhos de campo

Para a realização da pesquisa foram compreendidas no total oito visitas de campo abrangendo os meses de fevereiro, março, maio, junho, agosto, setembro, outubro e novembro de 2012.

A primeira campanha em campo, de caráter exploratória, primava identificar os principais contaminantes nas águas, as possíveis dificuldades de se ter acesso aos locais de amostragem, assim como auxiliar no planejamento para as campanhas seguintes. Desta maneira, foi elencado apenas quatro estações amostrais para a coleta de água: P1 – Estação Sorvete; P2 – Estação CPRM; P3 – Ponte Selig; P5 – Ponte Gilberto, incluindo os outros pontos de coleta na campanha seguinte. Da mesma forma, nem todos os parâmetros realizados durante a pesquisa, puderam ser alinhados nesta primeira etapa, uma vez que houve necessidade de inseri-los somente após alguns resultados alcançados.

Para atingir os objetivos almejados em campo, foi estabelecido um inventário baseado em Bartram (1996), que consistia nas informações necessárias para a execução de um satisfatório trabalho de campo, sendo elas: a) mapa geral da área de estudo que mostre a localização das estações de amostragem; b) um texto descritivo com uma completa descrição dos pontos amostrais; c) notas que abordem sobre especificidades, como a dificuldade ou até mesmo impossibilidade de se ter acesso ao local em determinadas épocas do ano; d) os equipamentos que deverão ser utilizados no campo e roupas especiais para a coleta de água; e) a determinação do volume das amostras e a descrição do pré-tratamento para preservação das mesmas nos seus respectivos recipientes; f) o tempo de viagem das amostragens até chegar ao laboratório; g) informações devem ser inseridas no inventário, mesmo em campo, caso haja mudanças em algum ponto amostral ou no programa de amostragem.

Rump (1999) salienta que o objetivo mais importante para a coleta de amostras é que esta tenha representatividade e validade para ser testada quimicamente, ou seja, as mesmas devem ser coletadas e estocadas de forma que os parâmetros determinados correspondam aos reais valores presentes na água.

Ainda, de acordo com o autor, os dispositivos para a coleta e armazenamento de amostras devem ser robustos, adequado para uso no campo, facilmente transportado, manuseados e limpos (BARTRAM *et al.*, 1996). A amostra não pode ser alterada através da reação com o material que se estoca a água, portanto, a escolha do recipiente para transporte de amostras é de suma importância, sugerindo que a utilização de garrafas de polietileno, na maioria dos casos, são ideais para concentrações de substâncias inorgânicas.

O procedimento de amostragem inicialmente iniciava-se em campo com a coleta de água (figura 5.2), em três frascos de polietileno de 350 mL. Posteriormente as águas coletadas eram acidificadas com HNO₃ concentrado até atingir o $\text{pH} \leq 2$, a fim de preservar as características da água em questão. Após esta acidificação, as amostras eram identificadas e acondicionadas em uma caixa térmica com gelo e transportadas desta forma até o laboratório, a fim de evitar possíveis reações químicas. No laboratório eram inseridas na geladeira e mantidas sob refrigeração, segundo recomendações de Bartram *et al* (1996).



Figura 5.2: Coleta da água na estação Floresta Selig

As análises *in situ* eram conduzidas, a partir da inserção do sensor (previamente calibrado com solução padrão) diretamente na lâmina d'água, com a estabilização do valor, era possível fazer as devidas mensurações. Com relação a turbidez, era preciso captar um pequena amostra para a leitura no próprio equipamento (figura 5.3).

Juntamente a esses procedimentos foi elaborado um formulário (conforme figura 5.4) para preenchimento em campo, a fim de tomar nota dos resultados adquiridos (pH, OD, condutividade elétrica e turbidez), bem como agregar informações que poderiam auxiliar na interpretação dos resultados, como um possível descarte de efluentes líquidos, próximos aos locais de amostragem, a cor da água, alguma dificuldade encontrada na coleta, dentre outros.



Figura 5.3: Análise da água *in situ*

Formulário para preenchimento em campo – Dissertação Paula C. Araujo		
1 - Local:	2 - Coordenadas:	
3 - Data:	4 - Horário:	
5 - Estação (n ^o):	6 - Temperatura da água: Temperatura do ar:	
7 - Existe algum ponto de descarga de efluentes? () Sim () Não		
8 - Há contaminação visível? () Sim () Não		
9 - Odor: () sem odor () muito fraco () fraco () evidente () forte		
10 - Cor: () amarelado () marrom-amarelada () amarronzado () verde-amarelado		
11 - Variável	Equipamento	Valor obtido
pH	_____	_____
OD	_____	_____
Cond. Elétrica	_____	_____
Turbidez	_____	_____
12 - Problemas encontrados/ adaptações feitas durante a amostragem:		
13 - Notas:		
14 - Coletores:		

Elaborado por Paula Coelho Araujo

Figura 5.4: Formulário para preenchimento em campo

5.2.4) Métodos de análises químicas

A metodologia de análise dos parâmetros realizadas pelos laboratórios se diferenciam, devido aos próprios equipamentos que são distintos. No laboratório de geoquímica pertencente ao GEOHECO, o método empregado para as análises na determinação dos poluentes inorgânicos foi a espectrofotometria no ultravioleta-visível, que corresponde a região do ultravioleta abaixo de 380 nm e acima de 780 nm no infravermelho na porção do espectro magnético (figura 5.5 e 5.6).

O propósito deste equipamento quando se utiliza a radiação na faixa do UV- visível é medir a absorção da radiação pelas moléculas existentes nos compostos químicos. Vaitsman

& Vaitsman (2005) afirmam que essas regiões do ultravioleta (UV) e do visível (VIS) são muito utilizadas na determinação de cátions e ânions de água.

O processamento das amostras, no equipamento supracitado, possui metodologia adequada para utilizá-lo, e tais métodos são descritos no manual de procedimentos denominado “Water Analysis Handbook” da Hack (2008), sendo estes métodos aprovados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) ou American Public Health Association (APHA).

Conforme o método utilizado neste equipamento (HACK, 2008) as amostras devem se submeter a um pré-processamento antes de serem iniciadas as análises. Logo, o passo inicial consistia na realização de um reagente branco, que é procedimento para calibração. Assim, insere-se primeiramente a amostra no espectrofotômetro apenas com o reagente branco (em alguns casos o branco, pode ser feito com a própria amostra de água do rio ou água deionizada, esta variação se dá em função da metodologia estabelecida), em seqüência é feita a leitura. A etapa subsequente consiste em preparar amostra de água que se quer analisar, para então, obter o resultado final.

Os procedimentos metodológicos para cada amostra estão sintetizados na figura 5.7.



Figura 5.5: Espectrômetro UV - visível, Lab.Geoheco - UFRJ.



Figura 5.6: Análise química da água, Lab. Geoheco - UFRJ.

Parâmetro	Faixa (mg/L)	Procedimento de análise
Alumínio	0,002 - 0,25	Adicionar o reagente na amostra, dissolver o reagente completamente, utilizar o temporizador (tempo necessário para que algumas atividades sejam executadas durante esse período cronometrado), quando o tempo expirar adicionar os demais reagentes. Inicie o temporizador novamente por 5 minutos. Por fim, insira a amostra no equipamento, para fazer a leitura, fazendo o teste de calibração antes.
Ferro	0,02 – 3,00	Inserir o reagente na amostra, dissolver, iniciar o temporizador. A preparação em branco deve ser feita com a própria amostra. Depois que o branco ser feito, realizar o teste.
Hardness (Dureza)	0,05 a 4,00	Colocar 100 ml de amostra da água em um cilindro, inserir 1mL de Indicator solution de Cálcio e Magnésio, fechar o cilindro e invertê-lo por algumas vezes. Em seguida, adicionar 1mL de Alkali Solution para Cálcio e Magnésio, e inverter novamente. Concluído isto, colocar o conteúdo de 10 mL em três outros frascos. O primeiro será destinado para o branco, que deverá ser adicionado 1M EDTA Solution. O segundo será para detecção de magnésio, incluindo uma gota de EGTA Solution. Desta maneira, deve-se colocar no equipamento o primeiro frasco para a leitura do branco, o segundo para a leitura do magnésio. Aferido o parâmetro, fazer a leitura do parâmetro cálcio. O valor encontrado refere-se ao cálcio da amostra expresso em CaCO_3 .
Potássio	0,1 – 7,00	Encher uma proveta com 25 ml de amostra, inserir o reagente Potassium 1 e mexer. Adicionar o reagente Potassium 2 e inverter a proveta por algumas vezes, em seguida adicionar Potassium 3, mexendo por 30 segundos, se o potássio estiver presente, uma solução branca irá se formar. Iniciar o temporizador e em sequência, fazer a preparação do branco apenas com a amostra de água coletada e em seguida fazer a leitura.

Figura 5.7: Metodologia para análise dos parâmetros da pesquisa

Com relação aos dois outros laboratórios que fizeram as análises (Laboratório de Química, Geoquímica – UFF e Laboratório de Desenvolvimento Analítico – Instituto de Química/UFRJ), ambos utilizaram o equipamento espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP - OES), estando ele representado na figura 5.8. Esta técnica tem sido amplamente utilizada em estudos ambientais em decorrência de alguns benefícios como: análise multielementar simultânea, ou seja, viabilidade da leitura de alguns elementos químicos em um único procedimento, sensibilidade e precisão mais altas para maioria dos metais e não-metals, em diversas faixas de concentração (HARPER & OLIVEIRA, 2006).



Figura 5.8: Espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP - OES), LaDa - UFRJ.

Em decorrência dessas vantagens supracitadas, a análise da radiação na faixa do UV-visível, técnica denominada de colorimetria, foi sendo gradativamente substituída por metodologias que possuem maior sensibilidade e menor possibilidade de erro, devido até mesmo pela restrição de interferências humanas nos processos analíticos.

Assim, a metodologia da ICP-OES está baseada na excitação dos elementos em um plasma de argônio, em que esta energia é utilizada na conversão de átomos e moléculas em um estado excitado, assim, as espécies excitadas retrocedem ao estado fundamental, ou seja, emitem fótons que são medidos por um sistema de detecção (GINÉ, 1999). A descrição mais detalhada do método encontra-se no Anexo 01.

5.3) Fluviometria

A fluviometria diz respeito às alterações da altura linimétrica, ou seja, os registros das alturas das lâminas d'água em um rio, juntamente com mensurações das vazões realizadas em uma seção transversal do canal fluvial, durante um determinado período de tempo. A leitura da régua pode ser feita através do observador de campo ou aparelho contendo um sensor de nível d'água acoplado em datalogger. Neste estudo utilizamos o leitor de campo, uma vez que o software apresentou problemas, não sendo possível descarregar os dados a tempo hábil. A figura 4.9 mostra as réguas instaladas no campo.

No que tange à pesquisa, foram instalados na bacia do Córrego Sujo três estações fluviométricas: Estação Sorvete (baixo curso), Estação CPRM (baixo curso) e Estação Ponte Gilberto (alto curso), vide figura 5.9. No que diz respeito à régua, ela contém uma escala linimétrica e foram fixadas nas margens do canal fluvial, sendo suficientes para medir as variações da água na seção. A leitura da régua foi realizada diariamente nos horários de 7:00 e 17:00 por um morador local, sendo que na Estação Sorvete (baixo curso) foi inserido o datalogger que registrava os dados obtidos de 10 em 10 minutos.



Figura 5.9: Régua linimétrica instalada na margem do canal fluvial, situada no baixo curso da bacia do Córrego Sujo.

Segundo Santos *et al.* (2001) "a vazão ou descarga de um rio é o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo (em geral um segundo)". Para a aferição da vazão, há diversos métodos, incluindo a realizada com molinete hidrométrico, que

por sua vez, determina a área da seção e a velocidade média do fluxo, do qual passa nesta seção.

Desta forma, nesta pesquisa foi utilizado o micro molinete hidrométrico Global Water FP 201 (figura 5.10), do qual as vazões são calculadas multiplicando-se a velocidade média na vertical pela profundidade na vertical multiplicada pela soma das semi-distâncias às duas verticais adjacentes. Em detrimento da variação da velocidade no fluxo fluvial, já que esta é maior na parte central do canal em relação às margens, obtiveram-se diversos pontos na seção transversal (SANTOS *et al.*, 2001).



Figura 5.10: Medição de vazão com molinete hidrométrico na estação baixo curso

As medições foram realizadas mensalmente nas três estações já mencionadas, considerando o período de seca e estiagem. Tendo em vista ao método adotado, foi empregado o da meia-seção, conforme figura 5.11 e seus respectivos procedimentos de cálculos.

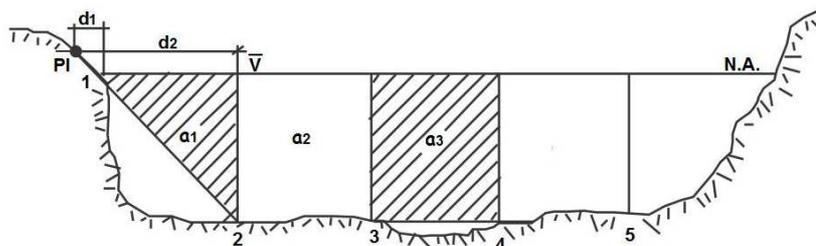


Figura 5.11: Esquema representativo do método de meia-seção (SANTOS *et al.*, 2001)

A fim de obter o cálculo da descarga líquida adotou-se a metodologia precedente (BRUM, 2010):

a) Cálculo das velocidades médias nos segmentos:

$$\overline{v_{(a1)}} = (\overline{v_{(1)}} + \overline{v_{(2)}})/2$$

$$\overline{v_{(a2)}} = (\overline{v_{(2)}} + \overline{v_{(3)}})/2$$

b) Cálculo das áreas dos segmentos:

$$a_1 = (d_2 - d_1) * [(p_2 + p_1)/2]$$

$$a_2 = (d_3 - d_2) * [(p_3 + p_2)/2]$$

c) Cálculo das vazões nos segmentos:

$$q_{a1} = \overline{v_{a1}} * a_1$$

$$q_{a2} = \overline{v_{a2}} * a_2$$

d) Cálculo da vazão total:

$$Q = \sum q_i$$

e) Cálculo da área total:

$$A = \sum a_i$$

f) Cálculo da velocidade média:

$$\bar{V} = Q/A$$

g) Cálculo da largura do rio:

$$L = d_n - d_1$$

h) Cálculo da profundidade média do rio:

$$P = A/L$$

5.4) Precipitação

Derisio (2012) salienta que os dados pluviométricos, produzidos a partir da precipitação das águas na superfície terrestre e originária da atmosfera, estão associados aos fatores meteorológicos, e estes por sua vez, dependem da variação do volume das gotículas de águas presentes nas nuvens e seu processo circulatório. Ainda segundo o autor, a mensuração da precipitação baseia-se na altura pluviométrica (ou altura de precipitação, que em geral é expressa em milímetros) e na quantidade de água que cai por unidade de área horizontal.

As medições deste parâmetro, em geral, são realizadas por pluviômetros e pluviógrafos. Nesse sentido, a fim de entender o regime de chuvas na bacia estudada, foram empregados três pluviômetros convencionais denominados de “Ville de Paris”, situado no baixo, médio e alto curso da bacia - conforme figura 5.12.

As medições foram feitas por um morador residente próximo aos equipamentos, que fazia a leitura em periodicidade diária. Além disso, obteve-se dados a cada 15 minutos, na estação automática, que era descarregada mensalmente.

Desta forma, os dados de precipitação, assim como os de vazão e leitura da régua, auxiliarão na interpretação das variações dos parâmetros de água e fornecerão informações de como as respostas hidrológicas afetam a qualidade da água na bacia então analisada.



Figura 5.12: Pluviômetros automático (lado esquerdo) e o manual (lado direito) situados na bacia de estudo.

5.5) Mapeamento do uso e cobertura vegetal

O mapa do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica foi elaborado a partir das imagens de satélite Geoeye - composição coloria e a pancromática, obtidas em março de 2012, contendo alta resolução espacial: 0,41 m no Pancromático (P&B) e 1,64 no Multiespectral (colorido). As demais especificações sobre as imagens encontram-se no Anexo 02.

A primeira etapa consistiu de trabalho de campo, objetivando reconhecer as feições primordiais na paisagem, selecionando 15 pontos de controle que privilegiaram feições de fácil reconhecimento nas imagens, como cruzamento de estradas, pontes, piscinas, dentre outros. Já a coleta dos pontos foi realizada no DGPS - Differential Global Positioning System, estrutura que confere maior precisão aos dados coletados, a partir de receptores GPS, que possuem uma correção diferencial proveniente de uma estação base e através dessas correções em tempo real é possível eliminar erros, obtendo-se precisões de 1 a 3m (ROCHA, 2007).

Em laboratório foi realizado o georreferenciamento das imagens e posteriormente a vetorização das diferentes classes de uso e cobertura do solo, através da classificação visual em uma escala de 1:20.000. Para este trabalho foram elencados as seguintes classes: afloramento rochoso, agricultura, capoeira, corpos hídricos (açudes), floresta, gramínea e silvicultura (eucalipto). A classe rede de canais foi extraída a partir das curvas de nível da Ampla na escala 1:10.000 e ainda foi feita uma reinterpretação das redes de canais.

5.6) Análise estatística

Em decorrência de uma elevada quantidade de informações a serem analisadas, torna-se imprescindível a aplicação de técnicas almejando a obtenção de informações, que por sua vez, serão transformadas em conhecimento. Neste sentido, faz-se necessário a incorporação de ferramentas estatísticas com a finalidade de visualizar o fenômeno de uma forma global, a partir de uma análise simplificada, uma vez que, a interpretação dos resultados pode ser muito complexa quando se trabalha com várias dimensões.

Para tanto, a Análise de Dados Multivariada se atem a um grupo de diversas variáveis, das quais a interpretação dos seus resultados considera as relações das mesmas (se por ventura existirem), em detrimento das características individuais de cada uma. Conforme Reis (1997), a Análise Multivariada baseia-se em um conjunto de métodos estatísticos contribuindo para o exame simultâneo de medidas múltiplas para cada indivíduo ou objeto. Segundo Kendall

(1980) o estudo multivariado possui alguns enfoques, dentre eles a representação simplificada da estrutura de dados, assim como, o agrupamento de variáveis de acordo com suas similaridades.

Dentre os métodos de Análise de Dados Multivariada, encontra-se a Análise de Componentes Principais (ACP), que é bastante utilizado nos estudos em geociências. Andriotti (2005) salienta que a ACP é uma técnica utilizada com a finalidade de compreender a relação entre os elementos de um banco de dados e tem uma boa aplicação quando se trabalha com muitas variáveis que interagem concomitantemente em um fenômeno. Ainda de acordo com este autor, a ACP determina os eixos principais de uma configuração multidimensional, classificando os elementos de um conjunto conforme suas classes similares - denominada também de nuvens de elementos, estabelecendo então, a correlação entre as variáveis no estudo.

Desta maneira, empregou-se o método das componentes principais para a identificação da correlação entre as variáveis, elaborando dois gráficos no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), um contendo a correlação entre as estações amostrais segundo as médias anuais dos parâmetros físico-químico e químico da pesquisa e o outro foi gerado visando alcançar a correlação entre os elementos. Foram selecionados tais variáveis como: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, potássio, magnésio, cálcio, ferro, alumínio e manganês.

6) RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1) Fluviometria

6.1.1) Relação entre precipitação e altura linimétrica

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos a partir do tratamento dos dados hidrológicos de pluviometria, de vazão e altura linimétrica, informações estas, utilizadas nas interpretações dos resultados de qualidade de água.

Johnson *et al.* (1969) *apud* Schlesinger (1997) salientam que a concentração dos íons dissolvidos nos rios estão relacionados a taxa de descarga e a origem das águas, que contribuem para a hidrógrafa do canal. Assim, se faz necessário conhecer o volume de água de um determinado canal para compreender as variações da qualidade da água.

As estações foram monitoradas durante um ano hidrológico, no período de 01 de dezembro de 2011 a 30 de novembro de 2012. Contudo, houve algumas interrupções na leitura devido à problemas com a régua linimétrica (meses de janeiro e junho na Estação Gilberto - Alto Curso), que necessitou de manutenção e também devido à algumas anotações que não foram realizadas pelo leitor de campo nesta mesma estação.

Observou-se um comportamento simultâneo das variações linimétricas nas três estações (figura 6.1), sendo que entre maio e setembro de 2012 foi evidente a ocorrência do fluxo de base de vazão nos canais mínimo, uma vez que as cotas encontraram-se sem grandes variações e em baixos níveis. Somente a partir de outubro de 2012 verificou-se um aumento da frequência e do volume de chuvas, marcando a estação chuvosa, que contribuiu para uma elevação na vazão nos respectivos canais (figura 6.1).

Cabe acrescentar que, na Estação Médio Curso (também denominada de Estação CPRM) foi constatado que, a partir do mês de abril, houve um declínio da altura linimétrica, podendo atribuir este fato à ocorrência da dragagem (conforme citado no capítulo Área de Estudo) ocorrida no referido mês, que aprofundou e alargou o canal.

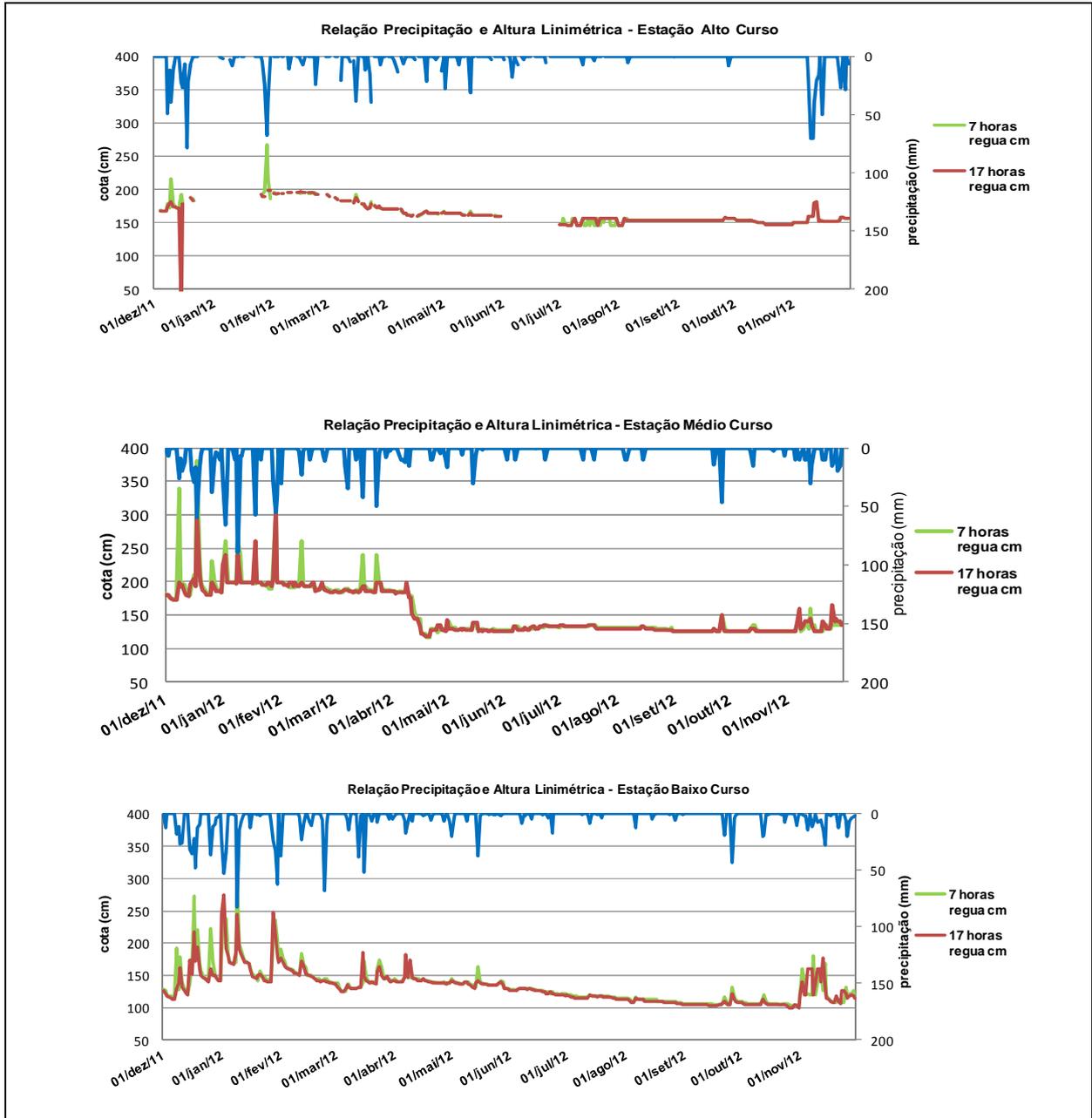


Figura 6.1: Relação entre precipitação e altura linimétrica nas três estações

Com relação à vazão máxima, não foi observado um dia específico e comum a todas as estações, em que a mesma ocorreu. Na Estação Alto Curso, o maior volume de chuva verificado foi no dia 18/12/2011 com 78,2 mm, sendo que também foi constatado precipitação nos três dias anteriores, contribuindo para a destruição da régua, não sendo possível fazer a leitura da altura da lâmina d'água. Foi então, elencado o segundo maior evento de chuva, que se deu no dia 29/01/2012 apresentando um volume de 67,4 mm, com episódios de precipitação nos dois dias anteriores, que por sua vez, colaboraram para aumentar o grau de saturação do solo, assim como o escoamento superficial. Por conseguinte, a resposta chuva-

vazão foi mais rápida e em maior magnitude, sendo perceptível figura 6.1, a partir da elevação da cota linimétrica.

Já na Estação Médio Curso, o maior volume de chuva foi observado no dia 09/01/2012 apresentando 89,3 mm, houve precipitação também no dia anterior, porém com um valor bastante inferior, sendo que a vazão não respondeu com a mesma intensidade, podendo afirmar que houve maior infiltração da água no solo, em relação ao escoamento superficial para o canal. Na Estação Baixo Curso (Estação Sorvete), foi atentado não somente para um dia específico, mas para os meses de dezembro/2011, janeiro e fevereiro/ 2012, que tiveram picos altos e pontiagudos no gráfico contido na figura 6.1, sendo resultantes da elevada contribuição do escoamento superficial e da baixa absorção de água neste ponto na bacia de drenagem.

6.1.2) Curva-chave

A modificação do regime hidrológico contribui para a alteração da velocidade e profundidade do escoamento no canal, assim como variações na qualidade da água. Nesse sentido, se faz necessário a análise da curva-chave nos estudos de vazão.

A curva-chave é uma função que representa a relação entre a vazão e a cota do escoamento (altura linimétrica) em uma seção transversal do canal. A mesma é baseada nos valores de vazão mensurados em campo nas estações secas e chuvosas, permitindo a previsibilidade da vazão de um canal diante de condições adversas, como chuvas intensas ou períodos de estiagem.

Desta forma, as medições de vazão foram realizadas mensalmente compreendendo o período de novembro de 2011 a novembro de 2012, no entanto, os meses de dezembro/2011 e julho/2012 não puderam ser mensurados, devido à impossibilidade de idas ao campo.

A curva-chave da Estação Alto Curso foi definida a fim de estabelecer a relação entre linimetria e vazão foi elaborada uma tabela 6.1 e um gráfico (figura 6.2) representando a Estação Alto Curso. Nos dados selecionados para o estudo obteve-se a vazão máxima de 0,23 m³/s, mensurado no mês de março de 2012. Já a vazão mínima atingiu 0,05 m³/s e ocorreu no mês de outubro de 2012 com baixos índices de chuva. Com relação à curva-chave da Estação Alto Curso, a mesma está expressa pela equação polinomial de quinto grau: $y = - 6E + 07x^5 + 4E + 07x^4 - 1E + 07x^3 + 1E + 06x^2 - 63608x + 1406,1$. Já o coeficiente de determinação (também chamado de R²) possui um intervalo de 0 a 1 e quanto maior for seu valor, mais explicativo será o modelo. Nesta pesquisa, o coeficiente de determinação foi elevado, ou seja,

apresentou o $R^2 = 0,8624$ (figura 6.2). Isto significa que, 86,24% da cota altimétrica é explicada pelo modelo (que corresponde a equação polinomial mencionada).

Brum (2010) em sua pesquisa na bacia do Córrego Sujo elaborou as curvas - chaves utilizando equação polinomial de quarto grau. Desta forma, empregou-se a mesma metodologia utilizada pelo autor, contudo, a equação de quarto grau não se ajustou bem aos dados, resultando em baixos índices de determinação (R^2), sendo eles 0.635, 0.411 e 0.673 para as estações Alto, Médio e Baixo Curso, respectivamente. Assim, a equação de quinto grau obteve um maior ajuste dos dados.

Tabela 6.1: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Alto Curso

Data	Altura (cm)	Vazão (m ³ /s)
Nov. / 2011	174	0,12
Jan. / 2012	192	0,19
Fev. / 2012	186	0,20
Mar. / 2012	186	0,23
Abr. / 2012	129	0,16
Mai. / 2012	134	0,16
Jun. / 2012	131	0,15
Ago. / 2012	131	0,07
Set. / 2012	134	0,08
Out. / 2012	125	0,05
Nov. / 2012	130	0,09

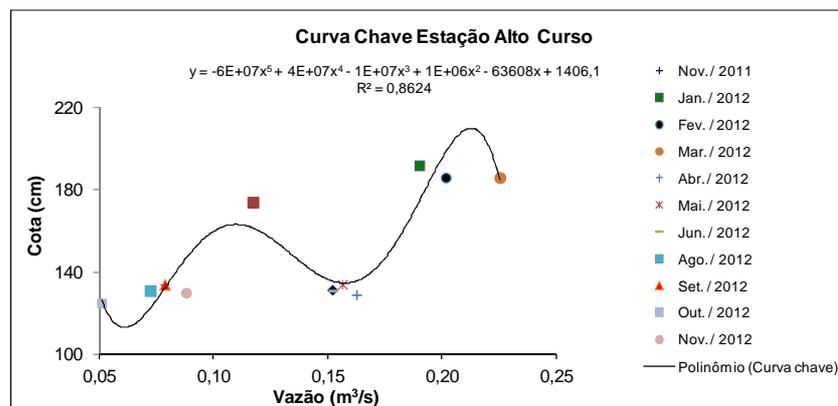


Figura 6.2: Curva-Chave do tributário do rio Córrego Sujo (Estação Alto Curso)

Em se tratando da Estação Médio Curso, o menor valor de vazão alcançado foi de 0,62 m³/s no mês de agosto de 2012, enquanto que o maior foi de 1,37 m³/s em janeiro e fevereiro de 2012 (tabela 6.2), na estação chuvosa. Pode ser associado a este fato uma possível

saturação do solo, que impede que a água infiltre e passe a escoar, visto que as chuvas são de maior intensidade neste período.

A curva-chave desta estação (figura 6.3) apresentou como equação: $y = 32829x^5 - 164591x^4 + 324359x^3 - 313690x^2 + 148757x - 2752$ e um índice baixo de determinação, ou seja, $R^2 = 0,5437$. Imputa-se este resultado, devido a obra de dragagem ocorrida no mês de abril/2012, que aprofundou o leito, alterando o nível de base local, e por conseguinte, a dinâmica fluvial.

Tabela 6.2: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Médio Curso

Data	Altura (cm)	Vazão (m ³ /s)
Nov. / 2011	174	0,78
Jan. / 2012	192	1,37
Fev. / 2012	186	1,37
Mar. / 2012	186	1,18
Abr. / 2012	129	1,02
Mai. / 2012	134	1,33
Jun. / 2012	131	0,85
Ago. / 2012	131	0,62
Set. / 2012	134	0,64
Out. / 2012	125	0,73
Nov. / 2012	130	0,83

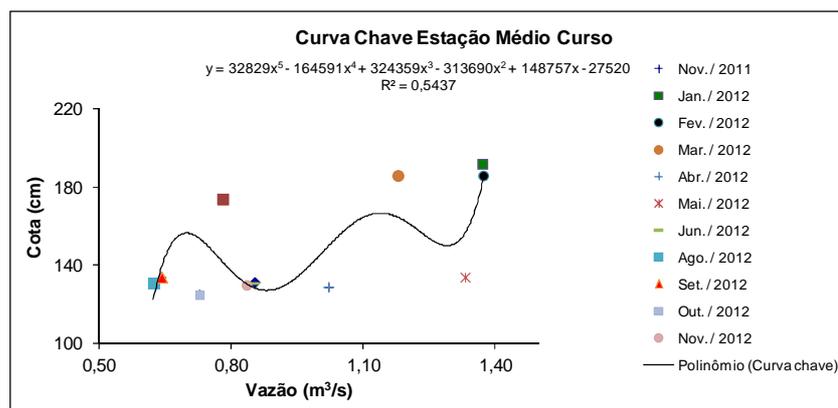


Figura 6.3: Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Médio Curso)

No estudo de Brum (2010) foi adotado a mesma metodologia no mesmo ponto amostral, durante os anos de 2008 a 2010, totalizando 13 medições de vazão. O autor alcançou um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,983$) atribuindo a esta estação uma morfologia do canal mais estável e alargada, apresentando reduzidos índices de

assoreamentos ou erosão. Desta forma, ratifica-se que a dragagem alterou as condições do canal, influenciando no valor de correlação.

Para a Estação Baixo Curso foi obtido a seguinte equação polinomial para a curva-chave: $y = 1370,4x^5 - 7210,5x^4 + 14430x^3 - 13609x^2 + 6010,1x - 874,08$, representado pela figura 6.4, com índice de determinação alto $R^2 = 0,8525$.

Tabela 6.3: Resultados da altura da lâmina de água e vazão na Estação Baixo Curso

Data	Altura (cm)	Vazão (m ³ /s)
Nov. / 2011	108	0,79
Jan. / 2012	142	1,39
Fev. / 2012	136	1,39
Mar. / 2012	138	1,68
Abr. / 2012	136	1,25
Mai. / 2012	134	1,17
Jun. / 2012	124	1,38
Ago. / 2012	110	0,67
Set. / 2012	105	0,40
Out. / 2012	124	0,65
Nov. / 2012	124	0,54

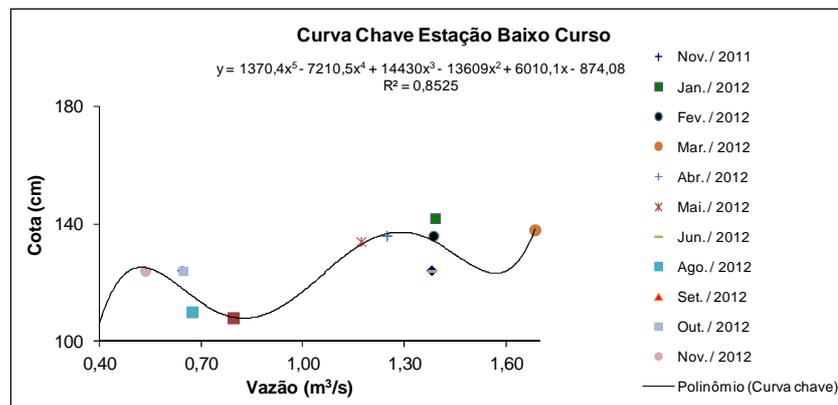


Figura 6.4: Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Baixo Curso)

Já a vazão apresentou máxima de 1,68 m³/s em março de 2012, ainda na estação chuvosa e mínima de 0,40 m³/s em setembro de 2012. As vazões médias em cada ponto elevaram-se de montante para jusante, com 0,13 m³/s, 0,97 m³/s e 1,02 m³/s, de acordo com as Estações Alto, Médio e Baixo Curso respectivamente. Constata-se que, a última delas por se encontrar no exutório da bacia sofre influência das elevações de vazão do rio Preto, que localiza-se 300 metros a montante deste ponto.

6.2) Uso e ocupação do solo e Cobertura Vegetal

A espacialização do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Córrego Sujo demonstrou que há predomínio da agricultura, com seus cultivos em fundo de vale, distribuída ao longo dos canais fluviais (figura 6.6). Devido à intensa dinâmica no uso do solo, acredita-se que esta atividade agrícola está interferindo diretamente na qualidade das águas superficiais, uma vez que o manejo convencional provoca a erodibilidade dos solos, contribuindo para que as partículas sejam transportadas para os cursos d'água contendo contaminantes, acelerando a poluição das águas.

A figura 6.5 demonstra a distribuição em porcentagem do uso do solo da bacia e a cobertura vegetal. BRUM (2010) também mensurou as áreas da classe de solo e vegetação, a partir do mapa produzido na imagem de satélite Ikonos (2001/2002) e encontrou como cobertura predominante a gramínea com 40%. Já nesta pesquisa foi encontrado uma cobertura de 24,02%. Apesar das áreas estarem baseadas em imagens e resoluções diferenciadas, Brum (2010) acreditava que o valor encontrado em seus estudos, mostrava-se incongruente, uma vez comparados com as atividades predominantes na região.

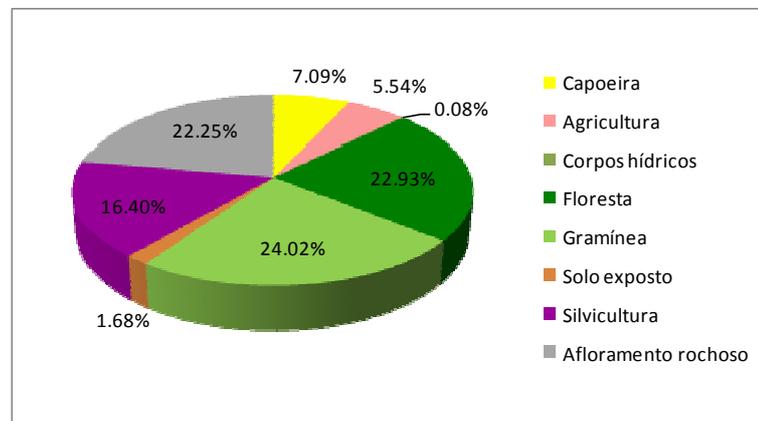
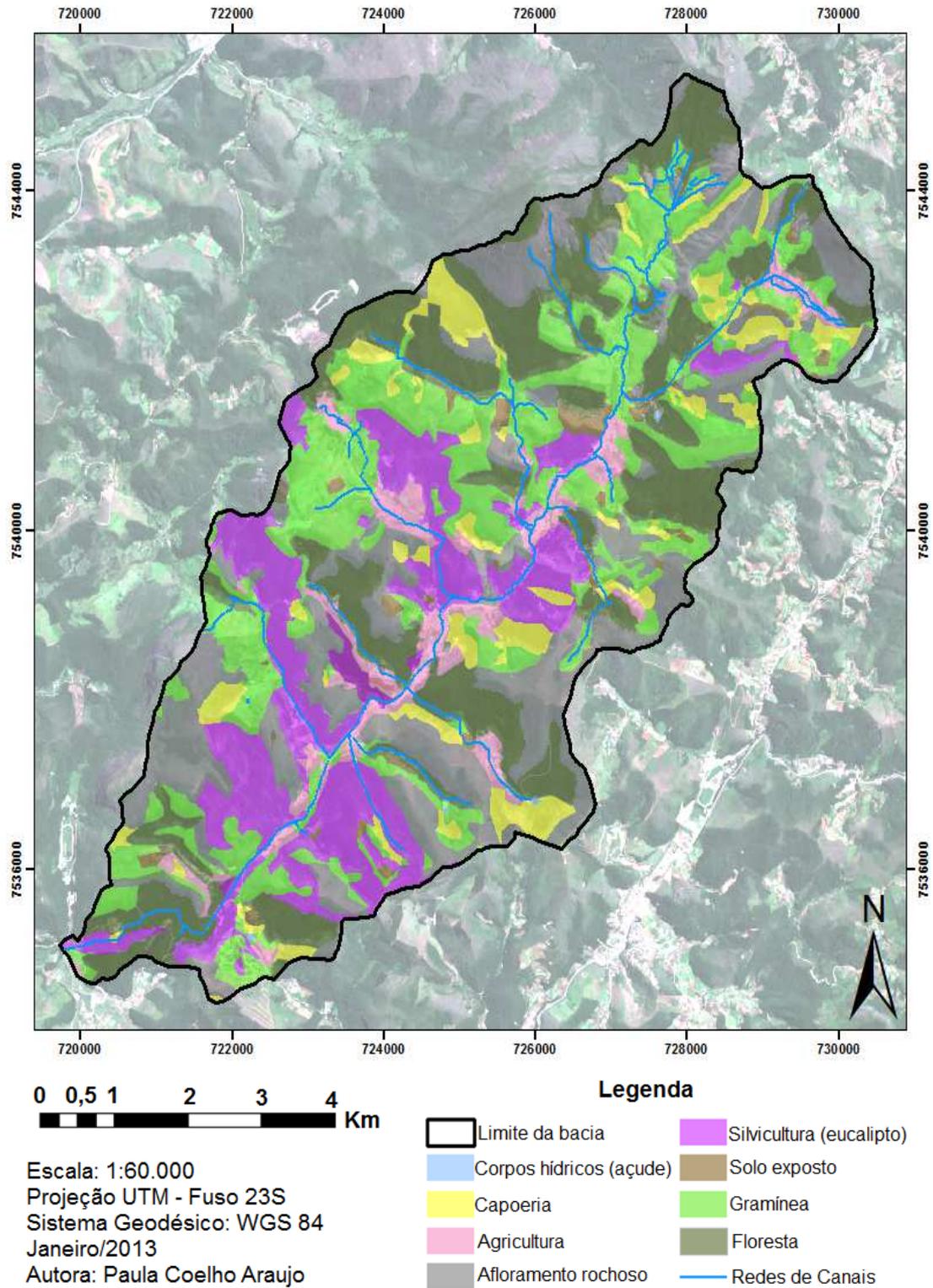


Figura 6.5: Porcentagem de uso do solo e cobertura vegetal (2012)

Deve ser ressaltado, o grande crescimento da silvicultura (eucalipto) na bacia de 16,40%, enquanto que BRUM (2010) encontrou apenas 1,02% no ano de 2001. Este resultado representa o estímulo advindo de uma maior lucratividade de tal produto. Outra comprovação deste fato é que o desenvolvimento da agricultura decaiu de 5,88% para 5,54% e os remanescentes florestais, por sua vez, também foram reduzidos em 4,62%.

As poucas áreas de solo exposto indicam que o solo está sendo preparado para o plantio de uma determinada cultura cíclica ou associados ao plantio de eucalipto.

Uso do Solo e Cobertura Vegetal Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis - RJ



Baseado na imagem de Satélite Geoeve (2012)

Figura 6.6: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Córrego Sujo

6.3) Comparação dos resultados analíticos de água

A fim de aprimorar a técnica e ter autonomia para os testes de água, foi iniciado as análises na bancada do Laboratório Geoheco, concomitantemente com outro laboratório com excelência em tal metodologia. Na segunda etapa, foi feita uma análise estatística comparativa dos resultados, apesar dos equipamentos serem diferenciados e possuir uma metodologia também distinta – com exceção dos procedimentos de pré-processamento da amostra, que eram homogêneos.

Diante dos resultados de Al, em todas as estações amostrais, foi observado que em ambos os equipamentos tiveram os valores máximos apresentando uma grande diferença. Enquanto que o UV-visível (Lab. Geoheco) apresentou 0,28 mg/L no P2, na estação chuvosa (outubro), o ICP – OES (Lab. LaDA) alcançou 0,72 mg/L para a mesma amostragem e no mesmo ponto amostral, resultando em uma diferença de 44%. Já o ICP – OES teve como valor 1,81 mg/L no P5, em março, enquanto que o outro equipamento obteve 0,25 mg/L, ou seja, 156% de diferença entre os resultados, para o mesmo período (tabela 6.5).

O desvio padrão do Al, no ICP – OES mostrou-se mais elevado em relação ao outro espectrofotômetro, contudo este valor não foi considerado alto, demonstrando que os dados tendem a estar próximo da média.

Para o elemento Ca foi constatado que a maioria das amostragens se apresentaram em maior concentração no ICP – OES, sendo que no UV-VIS não foram obtidas grandes variações durante o período avaliado - apesar deste parâmetro ter sido incluindo na rotina do Geoheco somente em junho, em função das importantes concentrações verificadas deste elemento na bacia do Córrego Sujo. No entanto, percebeu-se uma diferença de 141% entre as médias de Ca e isto influi bastante na avaliação quando se investiga a qualidade da água de um determinado local.

Tratando-se das composições químicas, os constituintes presentes na água podem ser agrupados em traço, ou seja, aquelas concentrações muito baixas para um determinado elemento, em decorrência da geoquímica das rochas de origem, dos solos da bacia hidrográfica, da poluição antropogênica e de reações químicas ocorridas em partículas e sedimentos (STUMM & MORGAN, 1996).

Desta forma, os dados de Fe, em geral, mostraram-se com maior concentração no equipamento do Lab. Geoheco. Atribuiu-se este fato, ao espectrofotômetro UV-VIS, que não possui a melhor técnica analítica para leituras de elementos traços encontradas em águas naturais. Para obter tal conclusão, foram realizados testes com soluções padrões de ferro, que

já possuem valores pré-definidos, com a finalidade de verificar se o equipamento estava fazendo a leitura correta e ajustar a melhor metodologia de análise.

Conforme o livro “Water Analysis Handbook” (HACH, 2008), que define os métodos para análise no equipamento, a água inicialmente deve sofrer um ajuste de pH, ou seja, deve ser acrescentado hidróxido de sódio na água para que o seu pH se eleve (já que a amostra de água sofre acidificação em campo). Contudo, este procedimento não é muito simples, tendo em vista que ocorrem diversas reações e atingir a faixa estabelecida demanda que sejam acrescentadas grandes quantidades de hidróxido e ácido nítrico – há situações em que o hidróxido aumenta o pH excessivamente, sendo necessário ter que baixá-lo novamente.

Para os testes, as soluções padrões foram acidificadas inicialmente. A primeira solução verificada havia 0,50 mg/L de concentração já conhecida, o processo de elevação do pH foi realizado, contudo, foi acertado rapidamente dentro da faixa, como resultado obtivemos 0,53 mg/L. Todavia, o mesmo não foi verificado na concentração de 1,00 mg/L, que passou pela mesma técnica, sendo necessário a inserção de grandes quantidades de NaOH e HNO₃, devido a demora na estabilização o pH na faixa correta, alterando o valor encontrado: 0,75 mg/L (tabela 6.4).

No entanto, a solução de 2,50 mg/L não foi submetida a nenhum pré processamento e obteve um valor de 2,61 mg/L, estando dentro da média de erros. Assim, conclui-se que, a leitura da amostra, sem os demais procedimentos, eleva um pouco a concentração de íons de um determinado parâmetro, porém o método se torna mais apropriado em relação à inserção de grandes quantidades de outras soluções na amostra, que contribui para distorcer a leitura.

Foi observado também que, o equipamento faz uma boa interpretação dos íons de Fe em amostras com maiores concentrações, não sendo tão preciso, em elementos traços das águas naturais.

Tabela 6.4: Resultados para a concentração de Fe

Concentrações da solução padrão (mg/L)	Valor obtido (mg/L)
0,50	0,53
2,50	2,61
1,00	0,75

Apesar das diferenças de leitura, os dados de máxima, mínima e média para tal parâmetro não se mostraram muito distintos dos encontrados pelo ICP- OES (tabela 6.5).

Tabela 6.5: Estatística descritiva da comparação entre os resultados

ICP - OES		UV- visível	
Al		Al	
Máximo	1,81	Máximo	0,28
Mínimo	0,01	Mínimo	0,00
Média	0,27	Média	0,09
Desvio padrão	0,37	Desvio Padrão	0,08
Ca		Ca	
Máximo	3,62	Máximo	1,27
Mínimo	0,14	Mínimo	0,24
Média	2,10	Média	0,69
Desvio Padrão	0,89	Desvio Padrão	0,24
Fe		Fe	
Máximo	2,48	Máximo	3,00
Mínimo	0,05	Mínimo	0,00
Média	0,67	Média	0,98
Desvio Padrão	0,47	Desvio Padrão	0,83
Mg		Mg	
Máximo	0,70	Máximo	0,49
Mínimo	0,04	Mínimo	0,02
Média	0,46	Média	0,32
Desvio Padrão	0,19	Desvio Padrão	0,14
Mn		Mn	
Máximo	0,63	Máximo	0,42
Mínimo	0,00	Mínimo	0,00
Média	0,07	Média	0,12
Desvio Padrão	0,10	Desvio Padrão	0,13
K (mg/L)		K (mg/L)	
Máximo	2,16	Máximo	7,00
Mínimo	0,20	Mínimo	0,00
Média	1,36	Média	1,60
Desvio Padrão	0,50	Desvio Padrão	1,00

A literatura refere-se à técnica do UV-VIS como mais utilizada para a análise de ânions como o fosfato, nitrato e em altas concentrações, como as águas de efluentes líquidos (JAGESSAR & ALLEYNE, 2011; SABAHI *et al.*, 2009). Acredita-se que estes fatores contribuíram para a diferença entre os resultados.

Tendo em vista os testes para Mg, o valor máximo encontrado, entre todas as estações, pelo Lab. LaDA foi de 0,7 mg/L, tomando como referência a mesma amostra, o Lab. Geoheco obteve 0,45 mg/L, isto é, uma diferença de apenas 25%. Esse ajuste, todavia, não foi alcançado para manganês que durante as três primeiras amostragens exibiu resultados que destoaram muito dos produzidos pelo ICP – OES e se apresentaram significativamente elevados em relação à Resolução Conama nº357 e aos dados obtidos por Oliveira (2007), contribuindo para que ele fosse retirado das análises no UV-VIS.

O parâmetro potássio apresentou como máximo 7 mg/L no espectrofotômetro UV-VIS, todavia, este valor aponta para uma possível contaminação no pré-processamento da

amostra, já que o conjunto dos dados indica valores mais reduzidos, como exemplo a média que foi de 1,6 mg/L (tabela 6.5). Assim, durante toda a pesquisa, os resultados eram acompanhados e discutidos com químicos e especialistas na área, a fim de se evitar possíveis erros ou formas de contaminação da amostra, como também acrescentar novos ajustes objetivando melhorar a qualidade da técnica.

6.4) Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água

6.4.1) Oxigênio Dissolvido e temperatura

Os resultados da concentração de oxigênio dissolvido e temperatura foram analisados conjuntamente em decorrência da associação que estes elementos possuem. A elevação da temperatura da água desencadeia a diminuição da solubilidade dos gases, como o do oxigênio dissolvido, além ainda de, aumentar a taxa de transferência de gases causando odores desagradáveis (CABALEIRO, 2010).

Partindo desse princípio, primeiramente estabeleceu-se a concentração natural dos níveis de OD. Foram tomados como base para a determinação dois pontos amostrais, aquele que contempla o ambiente florestal e a área de nascente, que são locais que sofrem menor influência das ações antropogênicas.

Houslow (1995) estabelece que, para águas naturais não poluídas as concentrações ficam próximas de 9,1 mg/L a uma temperatura de 20°C, nesse sentido foi tomado primeiramente as médias aritméticas dos valores de todas as amostragens de OD no Ponto 4 - Floresta Selig, resultando em 8,29 mg/L (tabela 6.6), sendo que a média de temperatura para tal ponto é de 22 °C (tabela 6.7).

Com relação à área de nascente, o P6 (Nascente Tento), não apresentou a média de OD satisfatória, visto que foi de 6,79 mg/L (tabela 6.6) a uma média de temperatura de 22,5°C (tabela 6.7). Os meses de setembro e outubro (tabela 6.6) apresentaram resultantes baixas, atribuindo essa condição à influência da temperatura e da presença de acumulação de matéria orgânica, que ao ser decomposta, diminui o nível de OD. Portanto, tal ponto foi desconsiderado como valor de background para a análise.

Tabela 6.6: Resultados para OD e estatística descritiva

OD (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tendo)	P7 (C. Tendo)	P8 (Rancho B)
02.12	7,99	8,21	7,40	—	7,30	—	—	—
03.12	7,88	7,65	6,84	6,73	7,26	7,51	7,50	7,04
05.12	8,54	8,61	9,20	9,23	9,09	8,10	8,06	9,13
06.12	8,67	8,48	8,86	8,73	8,89	7,90	8,38	8,19
08.12	8,69	8,63	9,44	9,53	9,30	8,37	8,73	8,80
09.12	8,18	8,08	7,90	8,54	7,92	5,56	5,62	8,02
10.12	7,24	7,05	6,88	7,39	6,83	4,27	4,51	7,28
11.12	7,14	7,33	7,64	7,87	8,07	5,82	6,50	7,12
Conama	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Estatística Descritiva								
Máximo	8,69	8,63	9,44	9,53	9,30	8,37	8,73	9,13
Mínimo	7,14	7,05	6,84	6,73	6,83	4,27	4,51	7,04
Média	8,04	8,01	8,02	8,29	8,08	6,79	7,04	7,94
Desvio Padrão	0,61	0,60	1,02	1,01	0,93	1,57	1,56	0,83

Tabela 6.7: Resultados para temperatura e estatística descritiva

Temperatura (°C)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tendo)	P7 (C. Tendo)	P8 (Rancho B)
02.12	24,00	25,60	27,60	—	27,60	—	—	—
03.12	26,00	23,50	28,90	24,80	28,90	22,90	22,90	27,20
05.12	20,50	19,00	17,90	17,60	19,20	18,70	20,20	18,00
06.12	23,30	22,60	18,30	20,30	17,90	21,30	18,60	20,70
08.12	20,20	20,90	16,30	16,90	16,60	17,90	18,80	18,80
09.12	24,20	24,50	22,40	22,40	24,90	22,10	23,40	24,50
10.12	28,80	29,70	30,00	28,00	31,10	31,10	31,10	29,70
11.12	29,70	27,90	24,70	23,80	21,20	23,20	25,10	26,10
Estatística Descritiva								
Máximo	29,7	29,7	30,0	28,0	31,1	31,1	31,1	29,7
Mínimo	20,2	19,0	16,3	16,9	16,6	17,9	18,6	18,0
Média	24,6	24,2	23,3	22,0	23,4	22,5	22,9	23,6
Desvio Padrão	3,5	3,5	5,4	4,0	5,5	4,3	4,4	4,5

Em se tratando da declividade, do canal principal e de seus tributários, constata-se que a mesma exercem reduzida influência nos níveis de OD, desconsiderando assim, ela como fator que proporciona altas velocidades de fluxos e condições de turbulência em meio aquático, contribuindo para aeração por transferência e difusão do oxigênio atmosférico na água, aumentando a concentração de OD na água (ARCOVA & CICCIO, 1999).

Em virtude do oxigênio dissolvido da água variar com a temperatura e a altitude, percebe-se que o OD obteve maior concentração no período de maio a setembro, meses dos quais há médias de temperaturas mais baixas, sendo o contrário também percebido nestas análises (conforme figura 6.7 e tabelas 6.6 e 6.7).

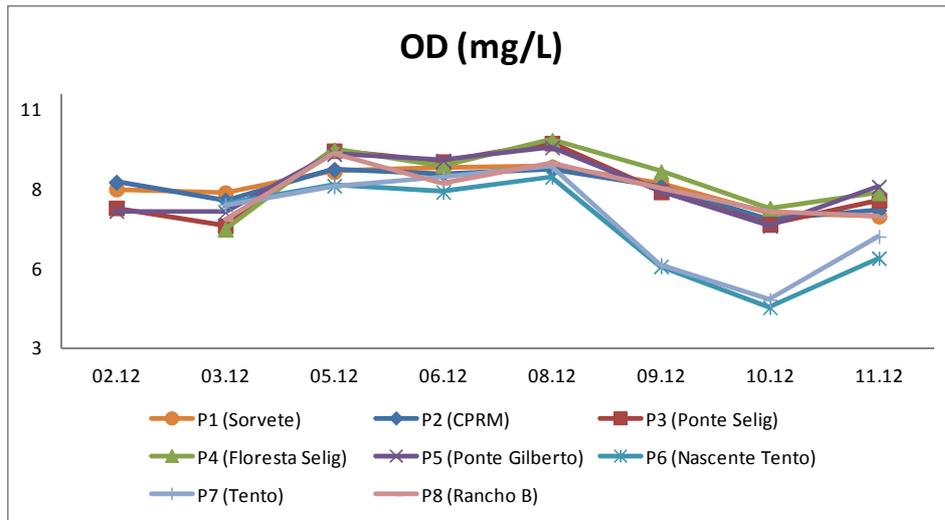


Figura 6.7: Concentração de OD nos pontos amostrais de acordo com a variação espaço-temporal

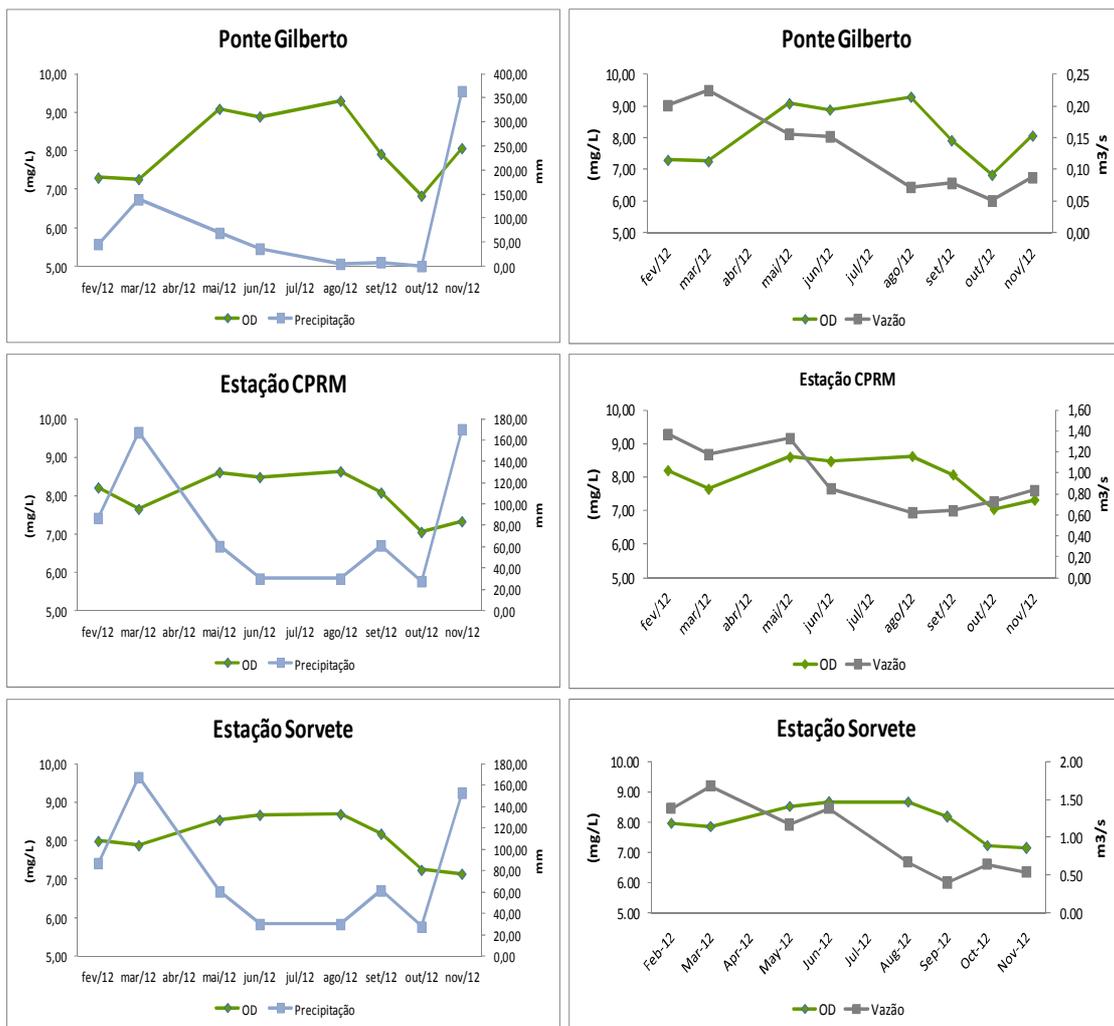


Figura 6.8: Variação do OD conforme a sazonalidade

Em relação à variação de OD, conforme as variações na sazonalidade, foi observado que nas três estações amostrais (figura 6.8), quando ocorreu uma diminuição na vazão e na precipitação, foi gerado um aumento do OD na estação seca. Já na estação chuvosa observou-se o contrário, uma menor concentração de OD. Estas informações abrangem apenas as três estações abordadas, em virtude destes dados serem produzidos somente nestes pontos.

Apesar de não ter sido verificado valores de OD inferiores a 2,0 mg/L (tabela 6.6), o que ocasiona a morte de peixes, a água apresentou odor desagradável no P7 (Canal do Tendo) e no P2 (Estação CPRM) no mês de junho, o que por sua vez pode ter sido atribuído a descarga de efluentes domésticos na água.

Tendo em vista o padrão estabelecido pela Resolução Conama n° 357/2005, constatou que todas as médias de oxigênio dissolvido (tabela 6.6) estão de acordo com a legislação. Todavia, nos meses de setembro e outubro o P6 e P7 se encontram abaixo desse limite por razões anteriormente discutidas (figura 6.9).

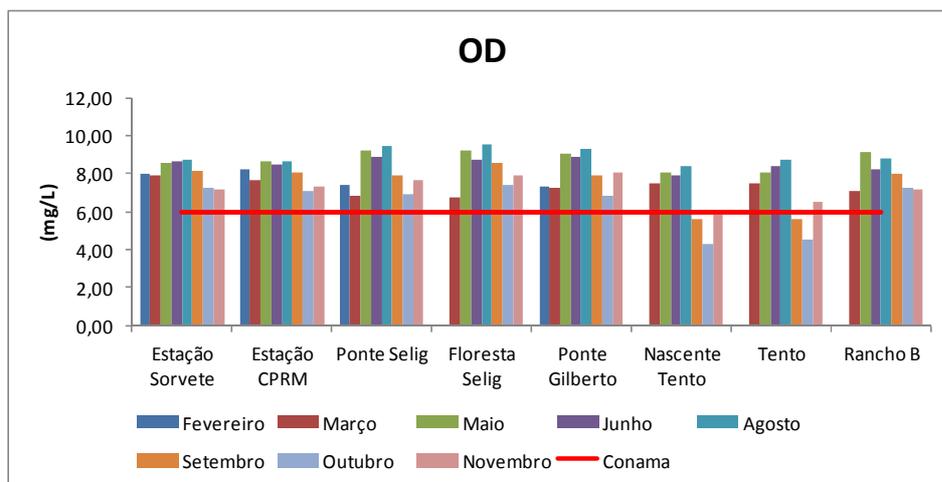


Figura 6.9: Concentração de OD nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.4.2) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH, assim como o OD, são importantes parâmetros para a determinação da qualidade das águas superficiais. O pH possui grande relevância no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos naturais, visto que a concentração de H^+ na água contribui para a precipitação dos metais, em ambiente ácido, atacando os minerais das rochas, solos e sedimentos, provocando a lixiviação ou solubilização dos constituintes presentes (BAGGIO, 2008).

Assim, dos dados obtidos de pH depende-se que as águas da bacia do Córrego Sujo possuem um caráter próximo da neutralidade e também levemente ácido, conforme as médias apresentadas pela tabela 6.8, em resposta às condições pedológicas - presença de classes de solos distróficos, a vegetação (que se decompõem e produzem os ácidos húmicos), as atividades antrópicas, que fazem uso acentuado dos insumos químicos, bem como a estação seca, que contribui para que o canal esteja no nível de base e essa química tenha menor potencial de diluição na água.

Tabela 6.8: Resultados para pH e estatística descritiva

pH	P1 (E. Sorveté)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tenta)	P7 (C. Tenta)	P8 (Rancho B)
02.12	7,27	7,10	7,18	—	7,06	—	—	—
03.12	6,71	6,82	7,06	7,99	6,98	6,46	6,47	6,79
05.12	7,18	6,85	6,56	6,47	6,97	6,37	6,39	6,12
06.12	7,05	6,99	6,59	6,38	6,24	6,54	6,48	6,82
08.12	9,94	6,77	5,45	6,74	6,85	6,28	6,62	6,31
09.12	7,22	6,50	7,15	6,69	7,14	6,13	6,71	6,96
10.12	7,29	7,11	7,25	6,39	7,14	5,97	6,58	7,03
11.12	7,24	7,21	6,86	6,51	6,81	6,03	6,60	6,81
Conama	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Estatística Descritiva								
Máximo	9,94	7,21	7,25	7,99	7,14	6,54	6,71	7,03
Mínimo	6,71	6,50	5,45	6,38	6,24	5,97	6,39	6,12
Média	7,49	6,92	6,76	6,74	6,90	6,25	6,55	6,69
Desvio Padrão	1,01	0,23	0,59	0,57	0,29	0,22	0,11	0,34

A variação espaço-temporal deste elemento apresentou o mesmo comportamento do OD, ou seja, houve uma diminuição da concentração com o aumento da precipitação e da vazão, com exceção do P2 (Estação CPRM), que apresentou uma elevação no resultado nos meses de fev. e nov. 2012, que correspondem às estações chuvosas, demonstrado pela figura 6.10.

A Resolução Conama estabelece que os valores de pH para as águas doces de Classe I não ultrapasse o limite de 6 - 9 mg/L. Em relação a média aritmética (tabela 6.8) nenhum ponto amostral ultrapassou tal determinação, porém na figura 6.11 constata-se que no mês de agosto na Ponte Selig (P3) esse valor ficou abaixo do que o permitido.



Figura 6.10: Variação do pH conforme a sazonalidade

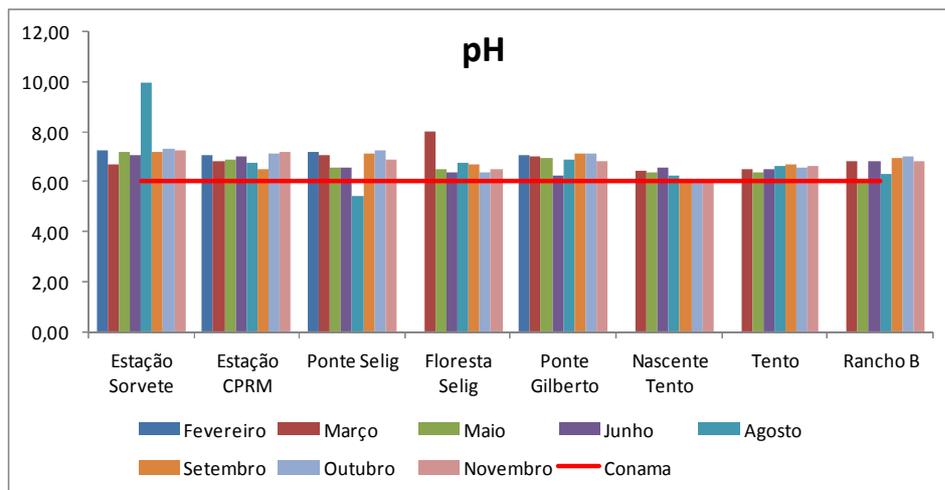


Figura 6.11: Concentração de pH nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.4.3) Condutividade elétrica

A condutividade elétrica começou a ser realizada somente a partir do mês de maio/2012, em função do equipamento ter apresentado problemas nos meses antecedentes. Conforme mostram os valores inserido na tabela 6.9 fica evidenciado que o máximo obtido de condutividade foi no P3 (7,78 $\mu\text{s}/\text{cm}$), que é um ponto amostral com intensa atividade agrícola. O mínimo encontrado foi no P4 (0,67 $\mu\text{s}/\text{cm}$), estando em área florestal, na qual não há uso do solo. Ambas as ocorrências foram verificadas no início da estação chuvosa.

Os resultados encontrados para a condutividade elétrica dizem respeito às respostas das variáveis litológicas e do uso do solo. Nesse sentido, a CE mede a quantidade total de íons (sais de espécies condutoras), como Ca, Mg, K, Na, conforme Cetesb (2007). Assim, em decorrência da litologia da área de estudo ser composta por hornblenda-biotita-gnaiss e apresentar em sua composição silicatos de Ca, Mg, Fe e Al, o contato desses elementos junto a água, influencia nos valores de CE. Isto fica mais nítido para o ponto P4, que é um ambiente florestal e preservado, mas que apresentou resultados significativos para tal parâmetro avaliado.

O uso do solo na bacia é em grande parte destinado à agricultura comercial, com manejo tradicional da olericultura, atividade intensa durante todo o ano e com elevada movimentação de material pedológico revolvido. Conseqüentemente, há carregamento desta carga para os cursos hídricos, aumentando a concentração de sólidos dissolvidos, e por sua vez, os valores de CE. Essas atividades em quase todos os pontos amostrais, e a nascente (P6) sofre influência por estar inserida à jusante de área de cultivo. A condutividade também é resultado da contribuição dos sais presentes da utilização excessiva de fertilizantes e corretivos nas áreas em questão.

Considerando ainda, que P3, P5, P6 e P7 estão assentados em terrenos de significativa declividade, o material erodido é transportado mais rapidamente, gerando uma maior concentração de sólidos dissolvidos lixiviados nos leitos dos rios. Cabe acrescentar, que a condutividade aumenta no período chuvoso na maioria dos pontos, como observado em P1 – onde também teve seu aumento em decorrência da elevação da vazão, figura 6.12. Os estudos de Oliveira (2007) também apontaram para elevados valores de CE na bacia durante o período de investigação.

Tabela 6.9: Resultados para condutividade elétrica e estatística descritiva

C. Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tento)	P7 (C. Tento)	P8 (Rancho B)
05.12	2,69	2,73	2,41	0,67	2,41	2,58	2,77	2,53
06.12	2,91	2,80	2,60	0,72	2,68	2,45	2,75	2,60
08.12	2,71	2,97	2,71	0,68	2,69	2,53	2,61	2,81
09.12	2,78	2,97	2,64	0,71	2,66	2,78	3,42	2,76
10.12	2,85	2,91	2,81	0,94	6,94	3,14	3,58	7,79
11.12	3,02	3,60	7,78	0,73	3,08	2,89	4,08	2,89

Estatística Descritiva									
Máximo	3,02	3,60	7,78	0,94	6,94	3,14	4,08	7,79	
Mínimo	2,69	2,73	2,41	0,67	2,41	2,45	2,61	2,53	
Média	2,83	3,00	3,49	0,74	3,41	2,73	3,20	3,56	
Desvio Padrão	0,13	0,31	2,11	0,10	1,74	0,26	0,58	2,07	

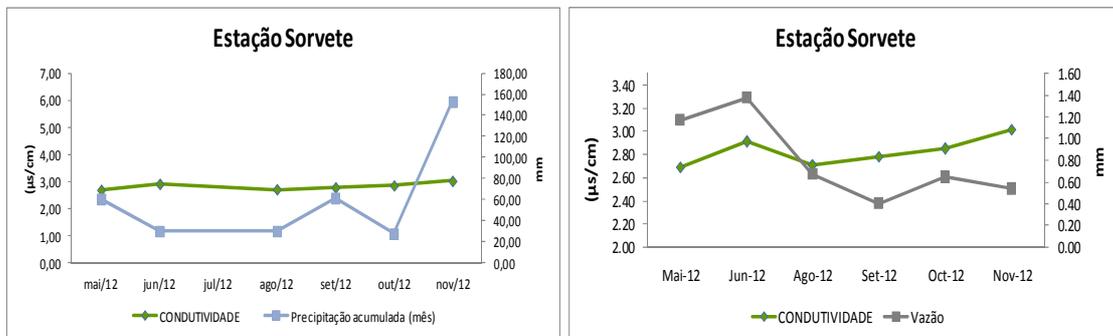


Figura 6.12: Concentração de condutividade elétrica conforme a sazonalidade

Tendo em vista que, a Resolução Conama não estabelece um valor padrão para tal elemento, não foi possível comparar tais resultados com a legislação, porém os resultados foram demonstrados na figura 6.13.

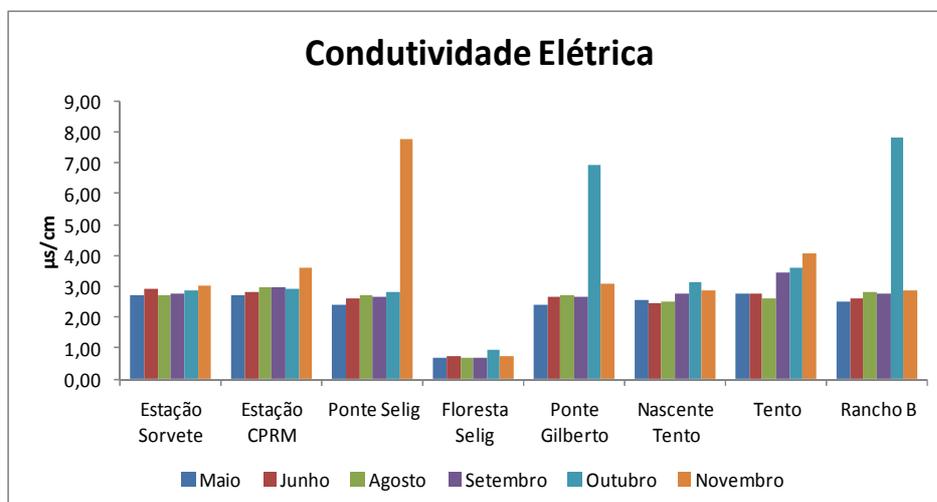


Figura 6.13: Concentração de condutividade elétrica nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.4.4) Turbidez

A turbidez foi realizada do mês de setembro a novembro, em virtude da concentração de íons de outros elementos avaliados estarem elevadas, associando esta ocorrência a carga sedimentar, sendo necessário portanto, implantar este parâmetro no monitoramento da qualidade de água.

A princípio não foi possível fazer uma correlação dos resultados de turbidez, em relação a CE, isto porque o banco de dados ainda está escasso para esta compreensão. Todavia, foi possível constatar que a turbidez diminuiu consideravelmente a partir da estação chuvosa em P1, P2, P3, P5, P7 e P8, acredita-se que seja em função do aumento da vazão em relação ao nível de base do canal, no período seco. Ao contrário deste comportamento, o P6 sofreu elevação dos valores nos meses subsequentes a setembro (tabela 6.10).

Já em P4 (Floresta Selig) o aumento no mês 10.12 se deu devido à dificuldade de acesso ao local recorrente de coleta de água, então o procedimento foi substituído por outro ponto amostral, 100 m a jusante. Porém, neste novo local foi encontrado maior acumulação de matéria orgânica na água, alterando o resultado de alguns parâmetros o resultado do mês de outubro.

Esses valores elevados de turbidez apontam também para a o uso do solo agrícola, assim como a supressão da mata ciliar que contribui para a retenção do sedimento, ao intenso processo hidroerosivo e cultivo agrícola nas margens dos canais e encostas.

Tabela 6.10: Resultados para turbidez e estatística descritiva

Turbidez (UNT)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Teto)	P7 (C. Teto)	P8 (Rancho B)
09.12	96,00	64,00	15,20	0,00	11,16	0,60	10,73	13,98
10.12	46,80	94,00	6,47	7,44	10,48	5,58	3,82	4,75
11.12	38,03	44,49	7,94	0,23	6,92	1,58	5,31	11,14
Conama	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Estatística Descritiva								
Máximo	96,00	94,00	15,20	7,44	11,16	5,58	10,73	13,98
Mínimo	38,03	44,49	6,47	0,00	6,92	0,60	3,82	4,75
Média	60,28	67,50	9,87	2,56	9,52	2,59	6,62	9,96
Desvio Padrão	31,25	24,94	4,67	4,23	2,28	2,64	3,64	4,73

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece que a turbidez não pode ultrapassar de 40 unidades nefelométrica (UNT), desta forma P1 (Estação Sorvete) – com exceção do mês de

novembro e P2 (Estação CPRM) encontram-se acima dos valores de referência, conforme figura 6.14.

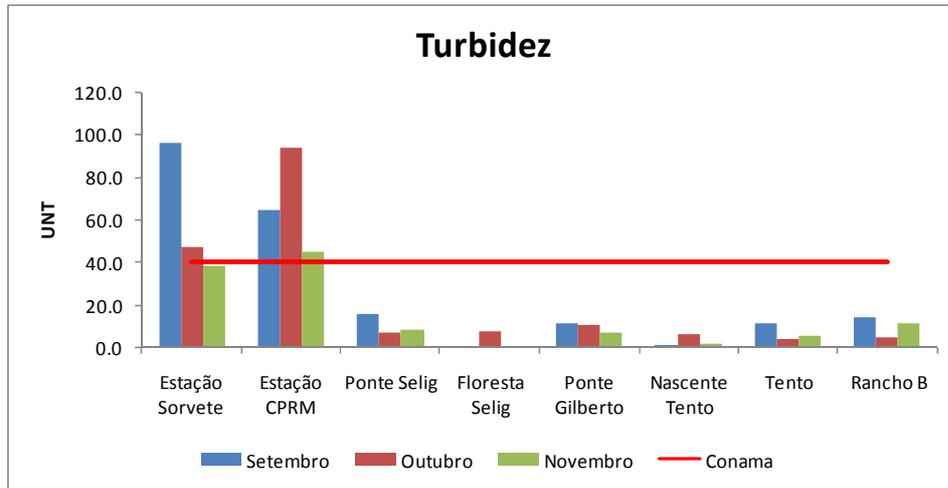


Figura 6.14: Concentração de turbidez nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.5) Comportamento dos parâmetros inorgânicos na água

Em decorrência do banco de dados de qualidade da água realizado pelo equipamento ICP – OES estar completo, abrangendo todos os parâmetros e todas as amostragens, e ainda, com valores mais precisos, o mesmo foi selecionado para a investigação da qualidade da água da bacia do Córrego Sujo.

As cargas iônicas dos parâmetros não são demonstradas, porque as determinações do ICP-OES não permitem definir a valência original do elemento.

6.5.1) Alumínio

Conforme Schlesinger (1996) em um simples sistema geoquímico, espera-se que as concentrações dos íons dissolvidos em águas superficiais possam ser maiores nos períodos de baixo fluxo, devido à maior parte da água ser derivada da drenagem dos perfis do solo, onde há equilíbrio entre a desagregação das rochas e reações de trocas entre os íons. Com o aumento do fluxo há o declínio das concentrações, uma vez que esta elevação do volume de água é derivada da precipitação e do escoamento superficial, sem que haja equilíbrio entre as fases minerais do solo. Portanto, na concepção do autor, este modelo geoquímico explica o

comportamento da maioria dos íons nos canais fluviais, como o Ca, Mg, Na, Si, Cl, SO₄ e HCO₃, embora existam algumas exceções.

Corroborando com a Cetesb (2009), o alumínio sofre dissolução no solo, a fim de neutralizar os ácidos que entram, provindos das chuvas ácidas, e com o período de chuva esse elemento pode atingir os mananciais através do escoamento superficial, sendo encontrado portanto em maior concentração, atuando de maneira contrária modelo geoquímico de Schlesinger (1996).

Já Ovalle (1985) afirma que, em ambientes naturais o aumento da vazão pode provocar a elevação do teor de alumínio e ferro na água. Desta maneira, este fato pode explicar os resultados mais elevados nos meses chuvosos e com maior vazão encontrados na bacia (tabela 6.11 e figura 6.15). O mesmo foi observado nos estudos de Ribeiro (2010) e Baggio (2008), que avaliavam a águas doces superficiais e encontraram maiores valores de lixiviação do alumínio no período chuvoso.

A disponibilidade do Al na bacia é decorrente dos fatores naturais e antropogênicos. Os primeiros dizem respeito à liberação para o meio através da lixiviação dos componentes litólicos, dos solos argilosos que compõem a cobertura pedológica (Cambissolo e Latossolo) e que possuem um alto teor deste elemento. Conforme já tratado, estes sedimentos são transportados para os cursos d'água. Acrescenta-se ainda a estas respostas de Al na água, os altos valores de declive, que contribuem para que as partículas do solo se arrastem devido à maior velocidade da água no escoamento superficial, estando também as encostas mais susceptíveis a erosão laminar (LEPSCH, 2010).

De acordo com os fatores antropogênicos, atribui-se as significativas concentrações de Al à produção agrícola convencional, que em decorrência das necessidades do mercado e a baixa fertilidade e pH ácido dos solos, se faz necessário a aplicação de insumos que contém este elemento, a fim de garantir maior produtividade.

Oliveira (2007) encontrou elevados resultados para Al, na investigação da qualidade da água na mesma bacia tratada e para o P3 (Ponte Selig) o valor médio encontrado deste parâmetro foi de 0,077 mg/L, fazendo com a autora classificasse as águas do canal como classe III. No entanto, neste estudo a média para tal elemento em P3 foi de 0,23 mg/L, atingindo um valor máximo de 0,98 mg/L (tabela 6.12).

Tabela 6.11: Resultados para alumínio e estatística descritiva

Al (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tendo)	P7 (C. Tendo)	P8 (Rancho B)
02.12	0,35	1,67	0,18	—	0,24	—	—	—
03.12	0,29	0,39	0,98	0,02	1,81	0,02	0,01	0,50
05.12	0,61	0,50	0,19	0,02	0,13	0,02	0,12	0,10
06.12	0,80	0,21	0,08	0,02	0,10	0,12	0,12	0,11
08.12	0,27	0,26	0,06	0,05	0,07	0,05	0,13	0,11
09.12	0,52	0,31	0,13	0,05	0,05	0,04	0,90	0,06
10.12	0,32	0,72	0,10	0,11	0,16	0,32	0,10	0,11
11.12	0,21	0,35	0,10	0,09	0,09	0,14	0,19	0,17
Conama	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Estatística Descritiva								
Máximo	0,80	1,67	0,98	0,11	1,81	0,32	0,90	0,50
Mínimo	0,21	0,21	0,06	0,02	0,05	0,02	0,01	0,06
Média	0,42	0,55	0,23	0,05	0,33	0,10	0,22	0,17
Desvio Padrão	0,20	0,48	0,31	0,04	0,60	0,11	0,30	0,15

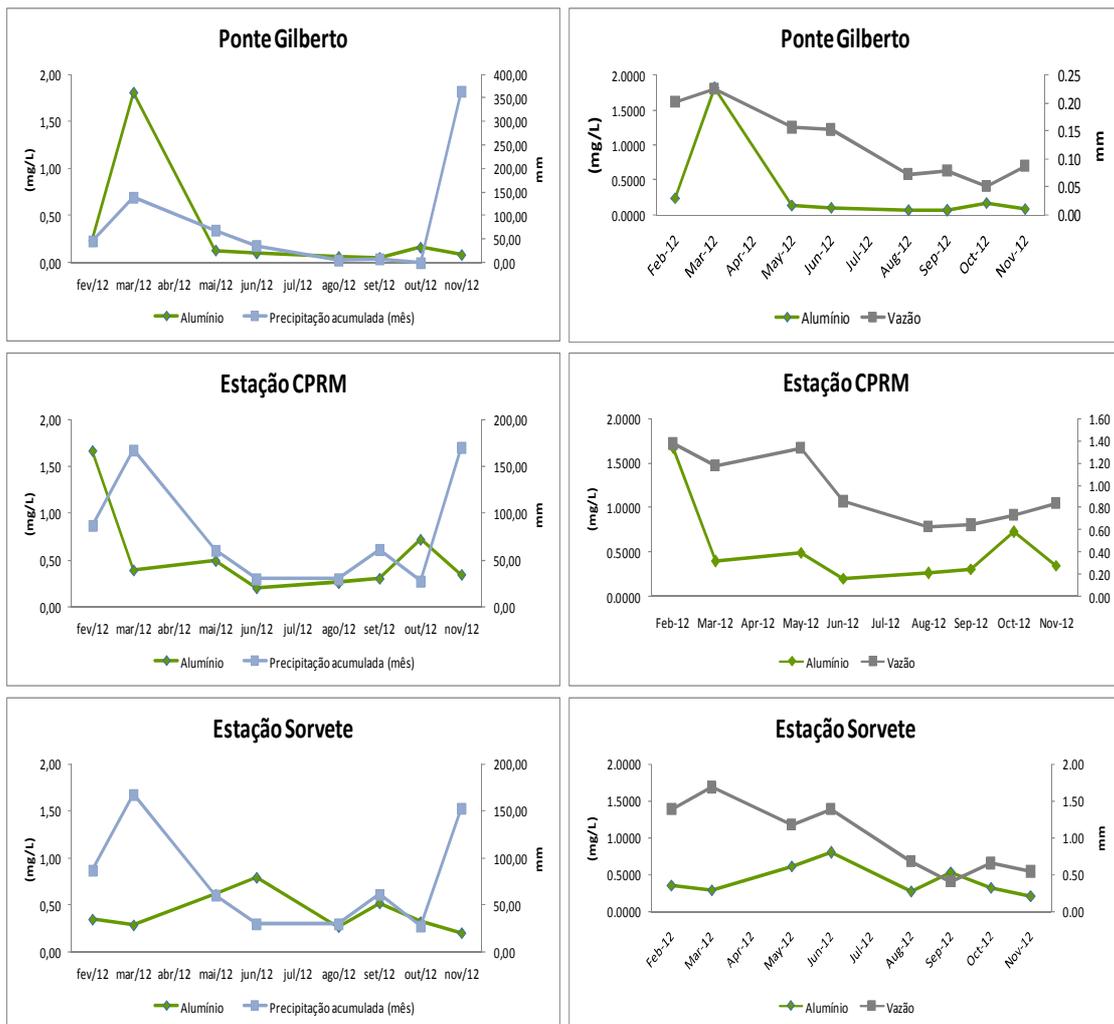


Figura 6.15: Concentração de alumínio conforme a sazonalidade

Por todo o período amostral foram encontradas altas concentrações de Al na bacia, com aumento de montante para jusante, com exceção do P4 (Floresta Selig), que não excedeu em nenhuma amostragem a determinação do Conama. Já em P6 (N. Tento) três meses estiveram acima do permitido e os demais pontos atingiram valores bastantes elevados, com P1 (E. Sorvete) e P2 (CPRM) visualizados na figura 6.16.

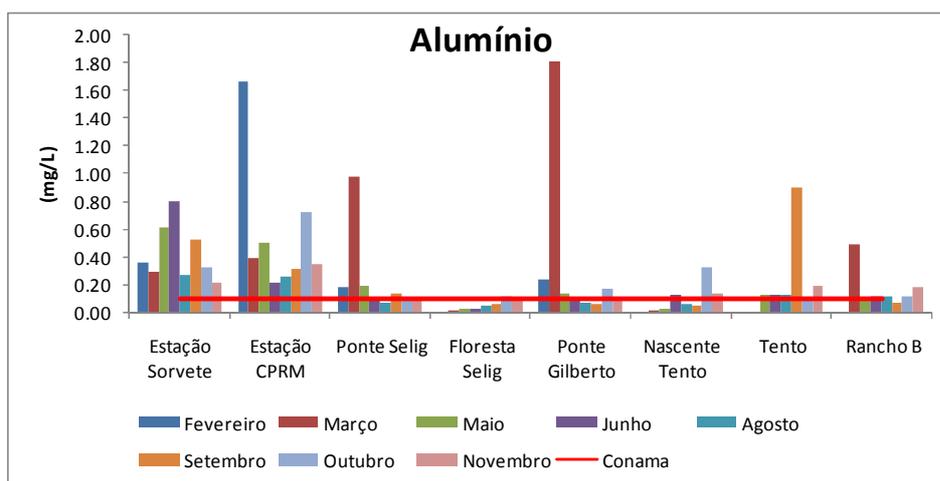


Figura 6.16: Concentração de alumínio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.5.2) Cálcio e Magnésio

Nos estudos de Pires (2005) foi feita a qualidade das águas do manancial Penitentes situado no Parque dos Três Picos (RJ). O autor encontrou as seguintes médias de Ca: 0,42 mg/L no verão e 0,29 mg/L no inverno, já o Mg obteve as médias de 0,65 mg/L no verão e 0,76 mg/L no inverno. Em relação as respostas do Córrego Sujo, nota-se que as médias de Ca (tabela 6.12) estão mais elevadas em que as de Pires (2005), no entanto, o Mg apresentou comportamento mais próximos do que os valores do autor (tabela 6.13).

Jennings (1983) *apud* Schlesinger (1996) abordou que em estudos em áreas cársticas, na Nova Zelândia, houve maior diluição de Ca e Mg com o aumento do volume de águas no rio, conferindo esses resultados ao intemperismo mais eficiente do calcário, promovido pela respiração das raízes durante o período chuvoso.

Tabela 6.12: Resultados para cálcio e estatística descritiva

Ca (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tenta)	P7 (C. Tenta)	P8 (Rancho B)
02.12	2,28	2,94	2,94	—	2,19	—	—	—
03.12	1,42	1,34	0,99	0,14	0,99	1,12	1,42	1,10
05.12	3,01	3,05	2,21	0,31	2,30	2,66	2,96	2,41
06.12	3,00	2,96	2,43	0,38	2,48	2,50	2,83	2,33
08.12	2,43	2,49	2,18	0,22	2,20	2,01	2,59	1,98
09.12	2,28	1,93	1,86	0,26	1,82	2,58	3,62	1,85
10.12	2,89	2,71	2,16	0,82	2,28	2,45	3,50	2,14
11.12	2,77	2,79	2,26	0,20	2,43	2,37	3,20	2,45
Estatística Descritiva								
Máximo	3,01	3,05	2,94	0,82	2,48	2,66	3,62	2,45
Mínimo	1,42	1,34	0,99	0,14	0,99	1,12	1,42	1,10
Média	2,51	2,53	2,13	0,33	2,09	2,24	2,88	2,04
Desvio Padrão	0,53	0,60	0,55	0,23	0,49	0,54	0,74	0,47

Tabela 6.13: Resultados para magnésio e estatística descritiva

Mg (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tenta)	P7 (C. Tenta)	P8 (Rancho B)
02.12	0,55	0,65	0,66	—	0,52	—	—	—
03.12	0,35	0,34	0,31	0,04	0,32	0,26	0,30	0,27
05.12	0,63	0,64	0,55	0,06	0,58	0,50	0,53	0,49
06.12	0,62	0,62	0,60	0,07	0,63	0,46	0,49	0,48
08.12	0,53	0,54	0,56	0,06	0,58	0,38	0,46	0,42
09.12	0,53	0,45	0,49	0,06	0,51	0,50	0,70	0,41
10.12	0,63	0,59	0,56	0,10	0,57	0,47	0,61	0,47
11.12	0,60	0,64	0,60	0,04	0,65	0,45	0,59	0,52
Estatística Descritiva								
Máximo	0,63	0,65	0,66	0,10	0,65	0,50	0,70	0,52
Mínimo	0,35	0,34	0,31	0,04	0,32	0,26	0,30	0,27
Média	0,56	0,56	0,54	0,06	0,54	0,43	0,53	0,44
Desvio Padrão	0,35	0,11	0,10	0,02	0,10	0,08	0,13	0,08

Nesta pesquisa, o cálcio e o magnésio apresentaram o mesmo comportamento (concentração dos íons) em relação à variação temporal e espacial, sendo que ambos os parâmetros exibiram maior concentração na estação seca, estando o canal no nível de base. O resultado destes parâmetros é contrário ao verificado com o Al, ou seja, houve declínio dos íons de Ca^{2+} e Mg^{2+} com o aumento da vazão (OVALLE, 1985), de acordo com a figura 6.17.

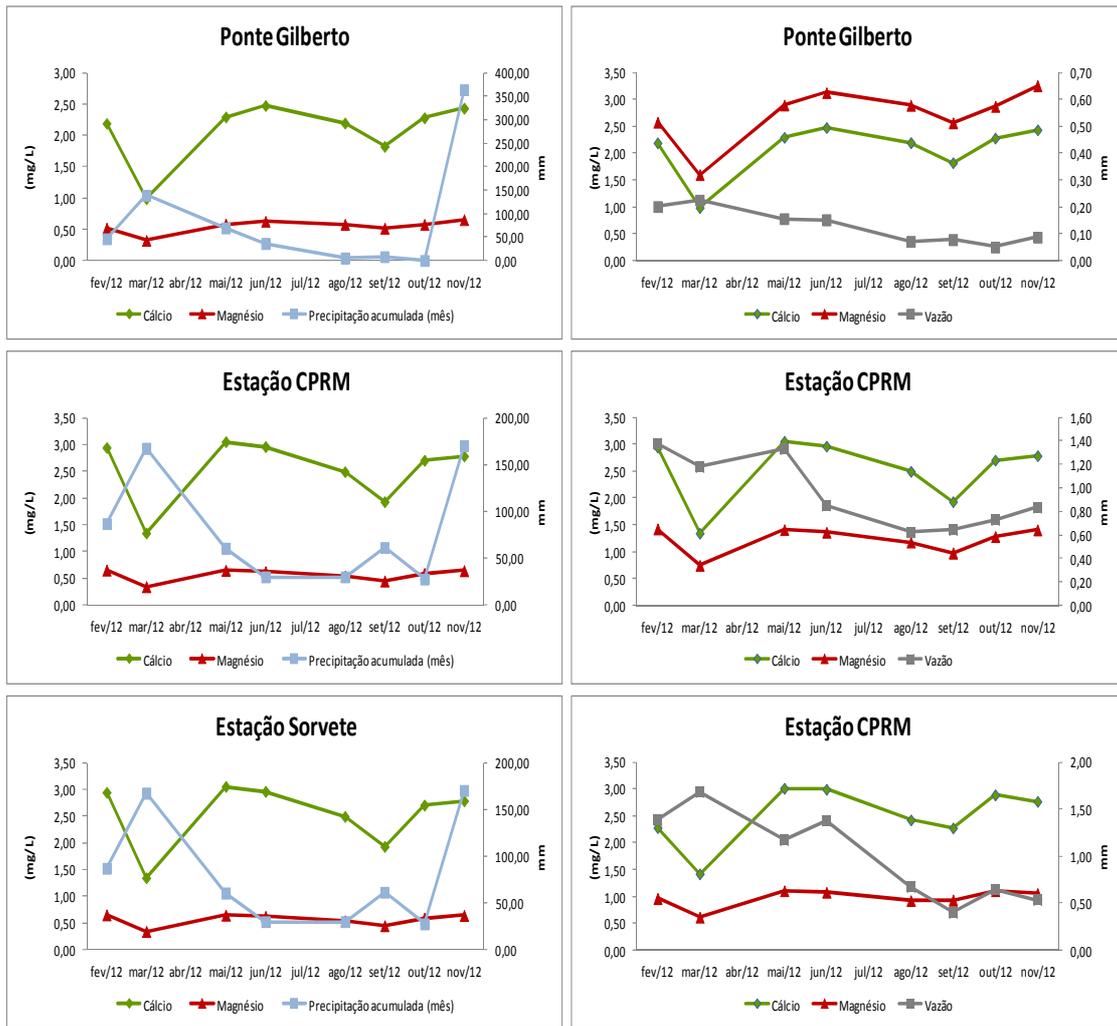


Figura 6.17: Concentração de cálcio e magnésio conforme a sazonalidade

De acordo com Brandão *et al.* (2011), a acidez do solo diminui a disposição de nutrientes como o Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} , aumentando por sua vez, a solubilidade de cátions tóxicos, como por exemplo, o Al^{+3} , assim a deficiência de Ca e toxicidade do Al são as principais limitações químicas para o crescimento das plantas.

Considerando que o pH dos solos são ricos em Al, possuem um caráter ácido, e por sua vez, apresentam baixos teores de cálcio e magnésio, os agricultores utilizam-se de agroquímicos em excesso, a fim de garantir o aumento da produtividade e corrigir essa disfunção negativa para o desenvolvimento da lavoura.

Em conformidade com Connell (1997), em áreas em que a agricultura é desenvolvida, os componentes do solo, como a argila e a matéria orgânica, são afetados pelos contaminantes do meio, ou seja, as argilas ao realizar a capacidade de troca catiônica entre vários silicatos hidratados e óxidos, faz com que as mesmas adsorvam cátions das quais estão em contato, incluindo os íons metálicos. Desta forma, a partir da interação solo-água, as partículas de

argila chegarão à lâmina d'água, com altos teores destes compostos, refletindo nos resultados de qualidade da água e justificando a presença excessiva de Ca e Mg na água, atribuindo a essa propriedade das argilas referida.

O Conama não estabelece valores limites para Ca e Mg, no entanto sua variação espaço-temporal é representada pela figura 6.18 e 6.19.

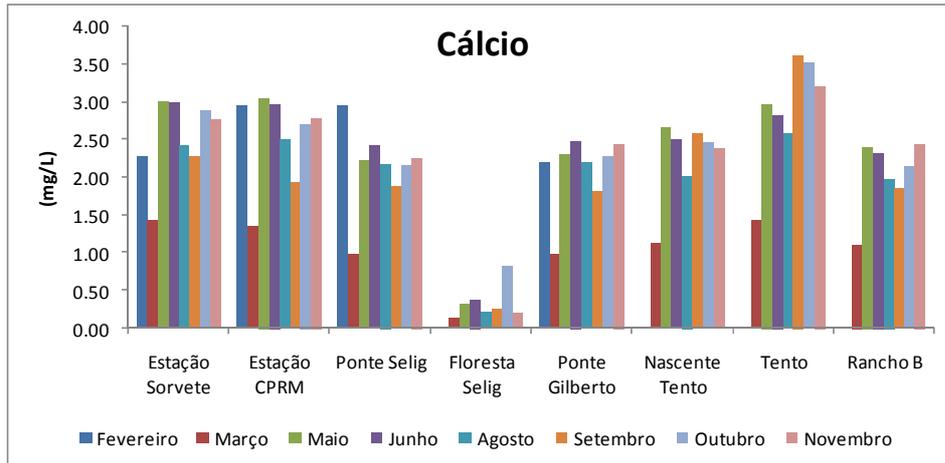


Figura 6.18: Concentração de cálcio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

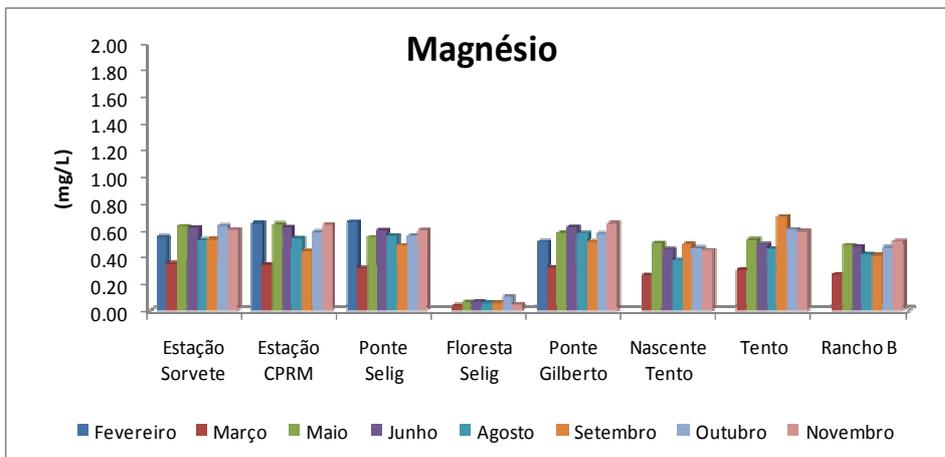


Figura 6.19: Concentração de magnésio nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

6.5.3) Ferro

Baggio (2008) afirma que a avaliação de ferro é muito significativa na qualidade ambiental dos compartimentos água, sedimentos e solos, uma vez que tal parâmetro faz parte do processo de remoção e disponibilidade nestes ambientes. Conforme Anjos (2003) *apud*

Knight & Kadlec (2000) nas áreas mais úmidas, o ferro está presente nas águas superficiais no estado oxidado sob duas formas: o Fe^{3+} (íon férrico) ou reduzido a Fe^{2+} (íon ferroso).

Nas pesquisas de Haddad (2007), o autor encontrou grandes concentrações de Fe^{2+} , em área cárstica, nas águas superficiais na bacia do Rio São Miguel (MG), com uso do solo também destinado a agricultura. Desta forma, nesta pesquisa, não foi possível saber qual a valência dos íons, mas os valores de ferro investigados nesta pesquisa corroboram com os resultados encontrados por Haddad (2007), ou seja, há bastante disponibilidade deste parâmetro, ultrapassando o valor máximo permitido (VMP) pela Conama (0,3 mg/L), contribuindo para uma concentração elevada deste metal nas águas superficiais da bacia do Córrego Sujo.

Tabela 6.14: Resultados para ferro e estatística descritiva

Fe (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tendo)	P7 (C. Tendo)	P8 (Rancho B)
02.12	0,69	0,89	0,46	—	0,57	—	—	—
03.12	0,77	0,60	1,12	0,05	1,05	0,05	0,09	0,64
05.12	1,44	1,23	0,85	0,08	0,71	0,07	0,21	0,57
06.12	1,37	0,87	0,75	0,06	0,75	0,24	0,36	0,74
08.12	0,89	0,86	0,59	0,06	0,63	0,05	0,43	0,46
09.12	1,59	1,04	0,97	0,06	0,77	0,07	2,48	0,53
10.12	0,95	1,20	0,67	0,15	1,28	0,41	1,48	0,52
11.12	0,84	1,02	0,70	0,06	0,85	0,07	0,56	0,66
Conama	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Estatística Descritiva								
Máximo	1,59	1,23	1,12	0,15	1,28	0,41	2,48	0,74
Mínimo	0,69	0,60	0,46	0,05	0,57	0,05	0,09	0,46
Média	1,07	0,96	0,76	0,07	0,83	0,14	0,80	0,59
Desvio Padrão	0,34	0,20	0,21	0,03	0,23	0,14	0,87	0,10

Nos estudos de Oliveira (2007) realizadas na mesma bacia, foi obtido valores de Fe mais acentuados que os encontrado nesta avaliação (tabela 6.14), fazendo com que a autora classificasse essas águas como Classe III. Como pode ser observado na figura 6.20, novamente todas as estações, com exceção da floresta e Nascente Tendo (apenas uma amostragem ultrapassou o limite), excedeu o VMP.

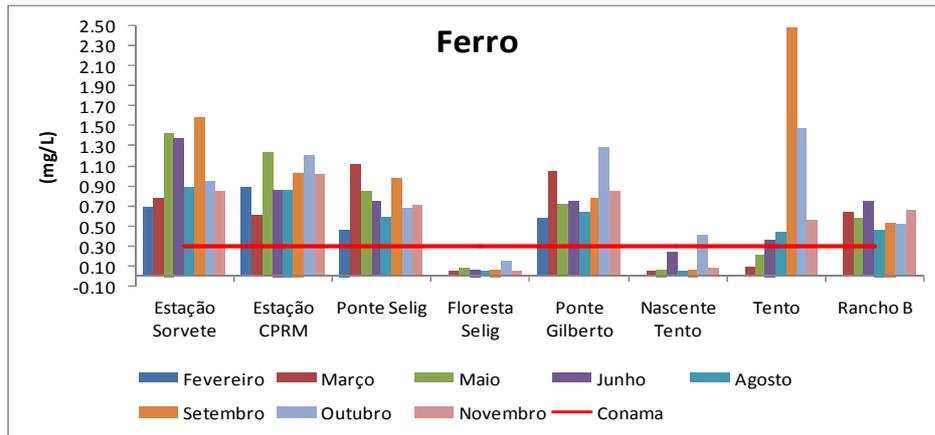


Figura 6.20: Concentração de ferro nos pontos amostrais de acordo com a variação temporal

A ocorrência do parâmetro Fe na água é dada pelas mesmas razões do Al (solo e composição mineralógica), podendo observar esta afirmativa em P4 e P6, dos quais há ocorrência de Fe, mas em menores concentrações. Todavia, nos locais adjacentes onde se faz uso dos fertilizantes agrícolas, percebe-se um maior teor do elemento supracitado na água, como em P1, P2, P3, P5, P7 e P8 (tabela 6.14).

Com relação a sua variabilidade temporal, o Fe no P5 (Ponte Gilberto) e no P2 teve os menores teores no período de estiagem e de menor disponibilidade hídrica no canal, enquanto que, em P1 notou-se uma oscilação contrária, com maiores concentrações no mesmo período considerado (figura 6.21). O P5 sofre menor influência dos fatores antropogênicos - visto que é um tributário do Córrego Sujo, já P1 (E. Sorvete) e P2 (E. CPRM) são pontos localizados no canal principal e com intensa atividade antrópica.

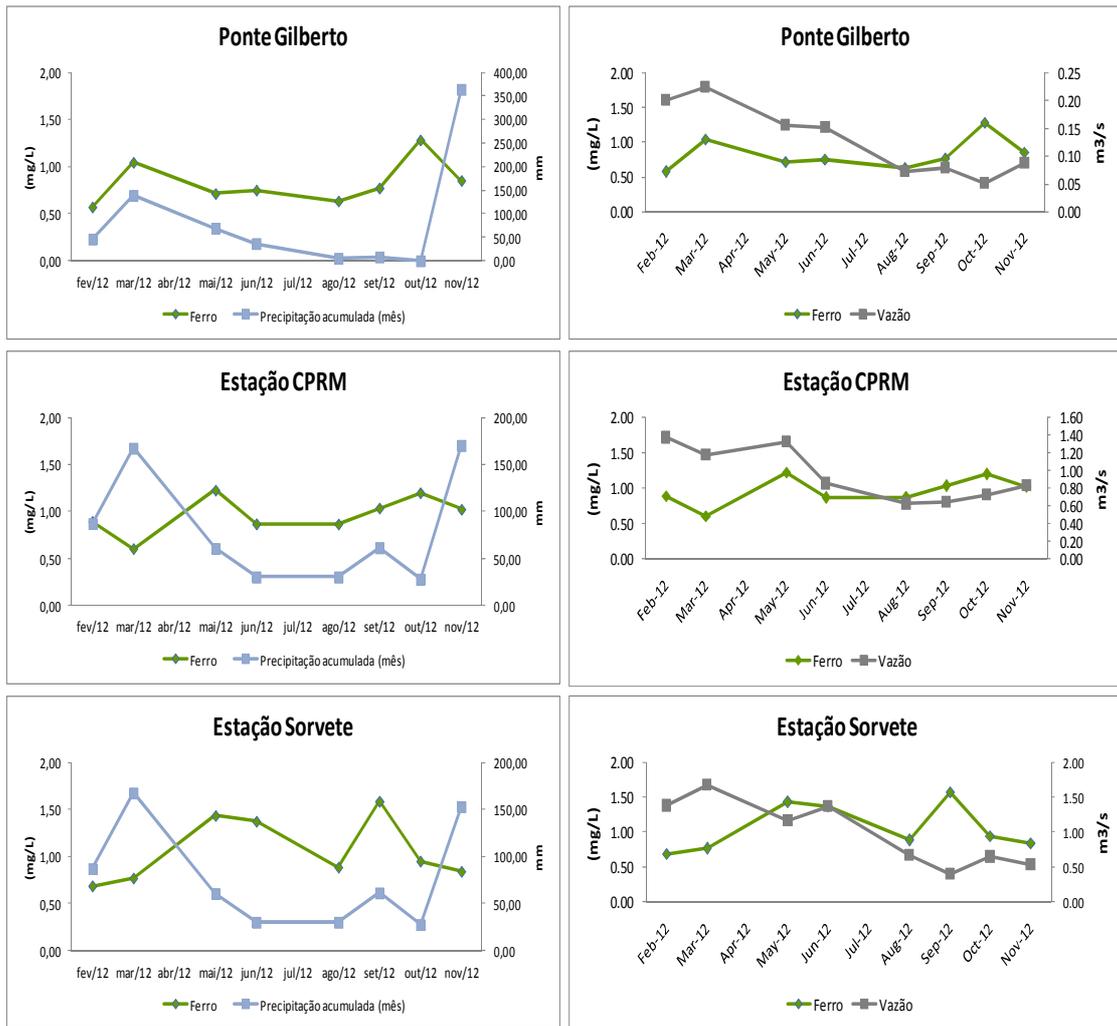


Figura 6.21: Concentração de ferro conforme a sazonalidade

6.5.4) Manganês

Alloway *et al.* (1997) demonstraram que o Mn chega a água através do uso de pesticida na agricultura, uma vez que os íons deste elemento não encontram-se em grande concentração nas águas superficiais e conforme Kadlec & Wallace (2009) o mesmo possui um comportamento similar ao do ferro e ocorre como Mn^{+2} e Mn^{+4} nos sistemas aquáticos, com predomínio do primeiro em ambientes de baixo potencial de redução e baixo pH.

Os íons deste parâmetro se mostraram em maior concentração no período que houve menor incidência de precipitação, incluindo até mesmo o mês de outubro, tendo em vista que este mês já faz parte da estação chuvosa. Esta observação pode ser visualizada com maior clareza na Ponte Gilberto e nas Estações CPRM e Sorvete (figura 6.22).



Figura 6.22: Concentração de manganês conforme a sazonalidade

A Resolução CONAMA 357/05, estabelece valores limites para o Mn, sendo que o mesmo não deve ultrapassar 0,1 mg/L. Logo, apenas o P7 (C. Tento) apresentou níveis elevados para tal parâmetro (figura 6.23 e tabela 6.15).

O mesmo ocorreu nas avaliações de Barros (2005), em que no P7 foi investigado o teor de Zn e Mn nos solos onde eram cultivados brócolis, verificou-se neste estudo, altas concentrações destes metais, quando comparados a outras áreas da região em que não são utilizados o fungicida Manzate, atribuindo portanto, essa elevada ocorrência ao fungicida.

Tabela 6.15: Resultados para manganês e estatística descritiva

Mn (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tenta)	P7 (C. Tenta)	P8 (Rancho B)
02.12	0,01	0,01	0,01	---	0,02	---	---	---
03.12	0,06	0,04	0,07	0,01	0,06	0,03	0,05	0,06
05.12	0,08	0,09	0,06	0,01	0,06	0,02	0,07	0,08
06.12	0,06	0,06	0,05	0,01	0,06	0,04	0,10	0,07
08.12	0,06	0,05	0,05	0,01	0,05	0,01	0,11	0,06
09.12	0,06	0,06	0,04	0,00	0,05	0,03	0,63	0,06
10.12	0,06	0,06	0,03	0,00	0,06	0,04	0,41	0,05
11.12	0,05	0,05	0,06	0,00	0,07	0,04	0,22	0,09
Estatística Descritiva								
Máximo	0,08	0,09	0,07	0,01	0,07	0,04	0,63	0,09
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,05
Média	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05	0,03	0,23	0,07
Desvio Padrão	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,22	0,01

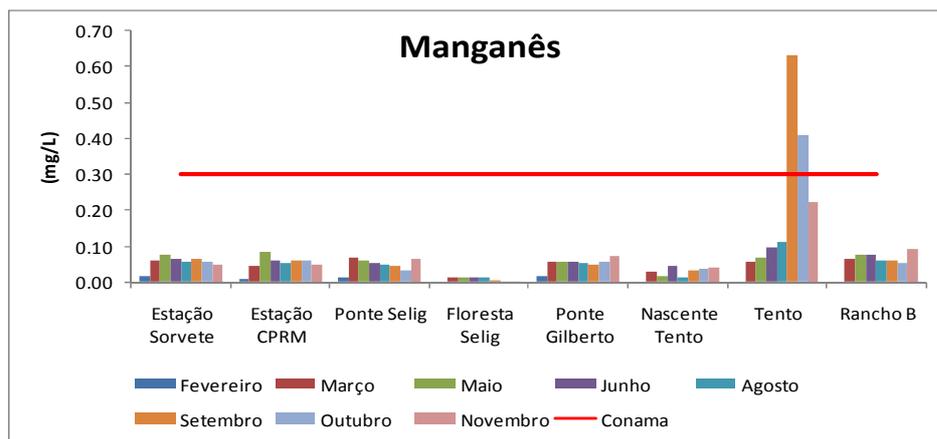


Figura 6.23: Concentração de manganês na variação espaço-temporal

6.5.5) Potássio

O K apresentou um comportamento semelhante de outros elementos avaliados, ou seja, maior concentração no período seco e com menor volume hídrico no canal, conforme as três estações, levando-se em consideração que o mês de outubro houve um menor índice de precipitação (figura 6.25).

Para Vaitsman (2001), os principais minerais que compõem este elemento são o feldspato potássico, mica moscovita e biotita, sendo eles com baixa resistência ao intemperismo físico e químico. Com já retratado a bacia possui a biotita na sua composição litológica, contribuindo para a presença de K nas águas superficiais, sendo o limite

estabelecido pelo Conama (0,1 mg/L) ultrapassado até mesmo na estação de background (figura 6.24).

Tabela 6.16: Resultados para potássio e estatística descritiva

K (mg/L)	P1 (E. Sorvete)	P2 (E.CPRM)	P3 (Ponte Selig)	P4 (Floresta Selig)	P5 (Ponte Gilberto)	P6 (N. Tenta)	P7 (C. Tenta)	P8 (Rancho B)
02.12	1,53	1,43	1,52	—	1,43	—	—	—
03.12	0,96	0,93	0,92	0,20	0,90	0,61	0,60	0,93
05.12	2,00	1,95	1,44	0,46	1,48	1,17	1,27	1,89
06.12	1,91	1,94	1,59	0,59	1,67	1,10	1,26	2,03
08.12	1,76	1,81	1,42	0,43	1,43	0,93	1,29	1,77
09.12	1,56	1,44	1,39	0,46	1,32	0,94	1,73	1,83
10.12	1,88	2,01	1,61	0,62	1,52	1,35	1,31	1,99
11.12	1,96	2,02	1,61	0,38	1,51	1,28	1,55	2,16
Estatística Descritiva								
Máximo	2,00	2,02	1,61	0,62	1,67	1,35	1,73	2,16
Mínimo	0,96	0,93	0,92	0,20	0,90	0,61	0,60	0,93
Média	1,69	1,69	1,44	0,45	1,41	1,05	1,29	1,80
Desvio Padrão	0,35	0,39	0,23	0,14	0,23	0,25	0,35	0,41

No entanto, ao analisar a distribuição espaço-temporal de K nos pontos amostrais de água na bacia (figura 6.24), percebe-se que grande incidência deste elemento é encontrado nas Estações CPRM, Sorvete e Rancho B (tabela 6.16), isto indica a utilização de fertilizantes químicos, o NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), que contribui para a dispersão de contaminantes no solo e na água, conforme Oliveira (2007) e Nunes (2011) em seus estudos em águas de irrigação de hortaliças na bacia do Córrego Sujo.

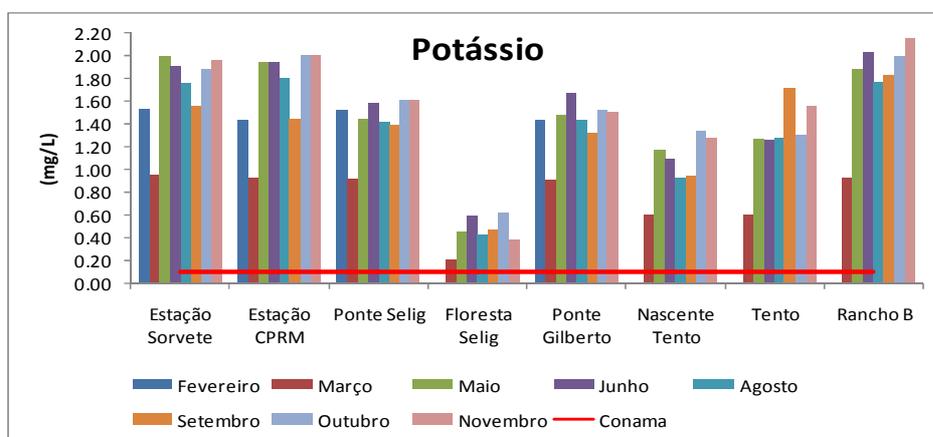


Figura 6.24: Concentração de potássio na variação espaço-temporal

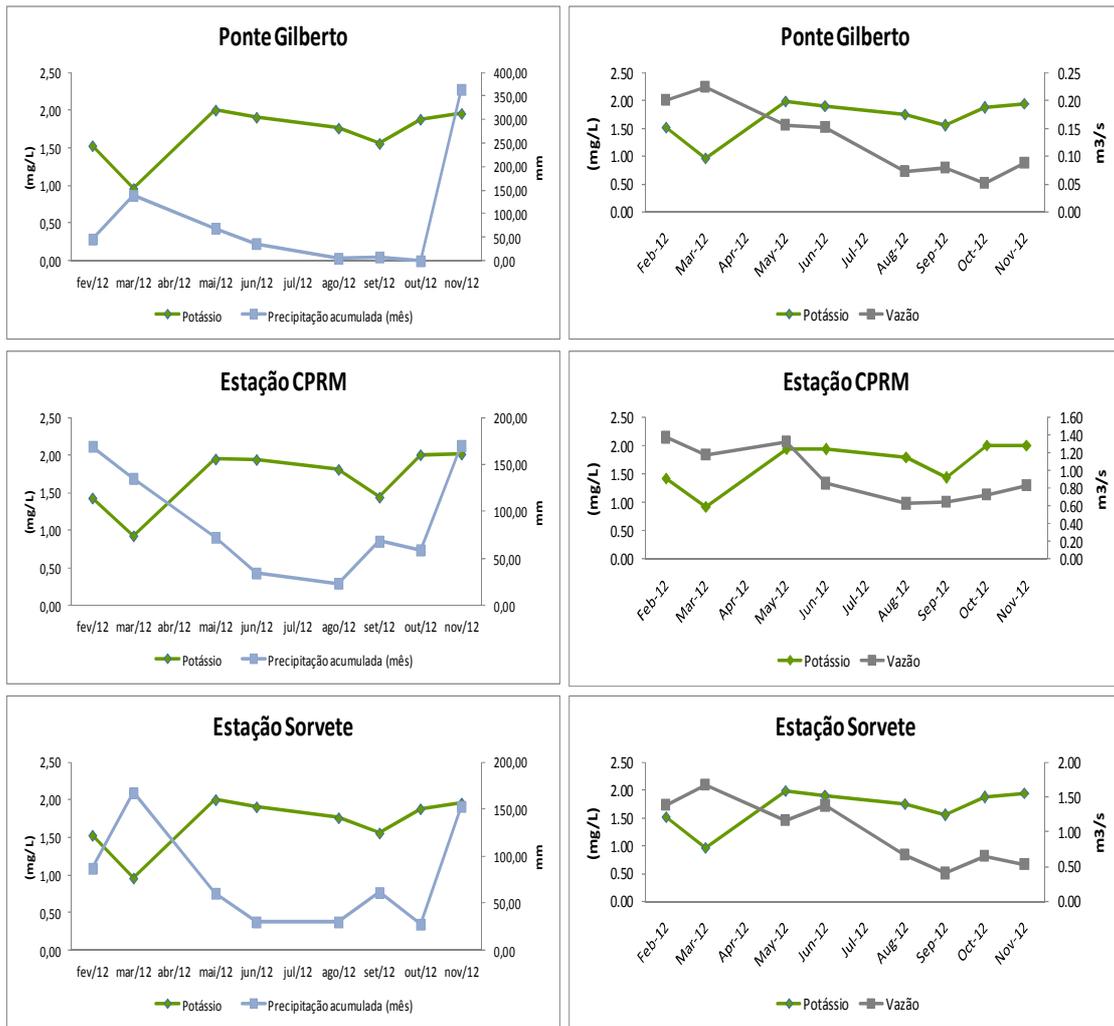


Figura 6.25: Concentração de manganês conforme a sazonalidade

6.6) Resultados estatísticos

Nesta seção, foram examinadas dez variáveis ativas, sendo que o oxigênio dissolvido foi retirado da análise por não apresentar correlação com os demais parâmetros e destoar a conexão existente entre os elementos.

O primeiro gráfico (figura 6.26) aborda a correlação entre as estações amostrais, a fim de confirmar estatisticamente quais são as que mais estão mais relacionadas, em decorrência da influência do uso do solo na bacia hidrográfica, dos arranjos físicos que influenciam na degradação dos canais hídricos, e ainda, contribuir para a definição dos pontos amostrais que serão utilizados como padrões de referência.

Para a obtenção de tais resultados, o primeiro passo consistiu na realização do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para verificar o ajuste dos dados à metodologia adotada. O KMO apresenta valores entre 0 e 1, os que estão próximos de 1 indicam que o método é adequado

ao estudo, já valores negativos indicam que o mesmo não é adequado. O resultado obtido foi de 0.686, o que demonstra a adequação ao estudo.

Logo, fazendo a análise deste agrupamento obtido, constata-se que a Estação Sorvete e a Estação CPRM estão próximas, é possível atribuir essa resultante à algumas características observadas em campo e comprovadas ao longo da pesquisa, como o uso do solo (presença de olericulturas e silviculturas em ambas estações), pela grande quantidade de efluentes líquidos domésticos que são lançados nestes corpos hídricos, e ainda, por apresentarem maiores concentrações de poluentes na água.

Já as estações Rancho B, Ponte Selig, Ponte Gilberto e Canal do Tendo estão relacionadas devido à influência direta e principalmente da agricultura, que é desenvolvida junto aos canais. E ainda, com relação à Floresta Selig e Nascente Tendo, a correspondência entre ambas é significativa no gráfico apresentado, contudo o que foi observado nos resultados, principalmente os químicos, é que de fato a Floresta Selig pode ser uma referência (valores de background), já na nascente não foi notado este comportamento. Contudo, diante da degradação tamanha das demais estações, as que tem valores mais próximos são essas duas.

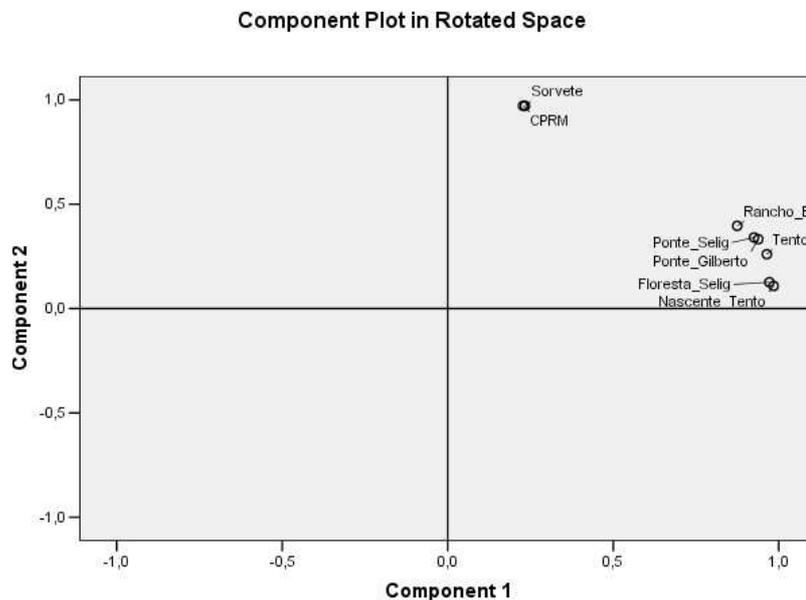


Figura 6.26: Correlação entre as estações amostrais para qualidade da água.
Fonte: SPSS

Objetivando agrupar os parâmetros de água a partir de suas interações foi elaborado um segundo gráfico (figura 6.27), que servirá como base para uma adequada interpretação dos dados de qualidade da água, tendo em vista suas correlações. Com relação ao teste de KMO, o estudo também mostrou-se viável em função do resultado apresentado que foi de 0,643.

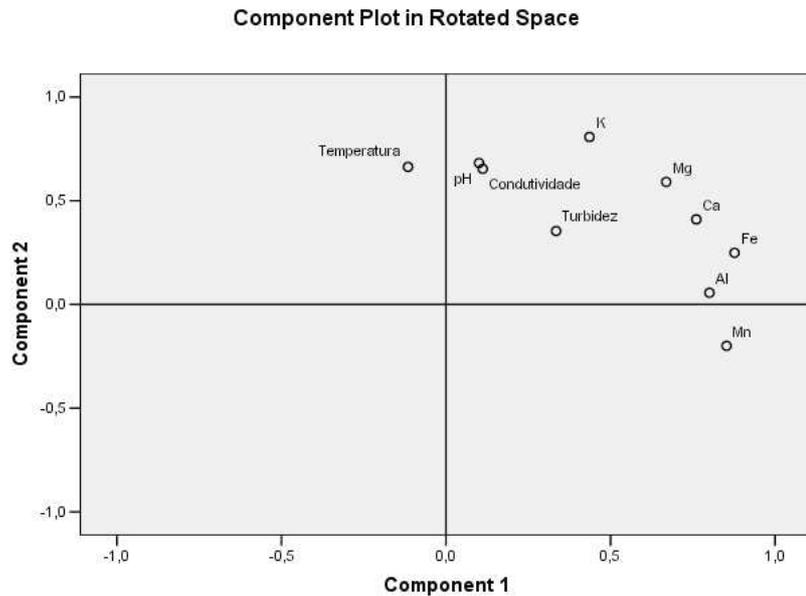


Figura 6.27: Correlação entre os parâmetros selecionados para qualidade da água
Fonte: SPSS

Zhang *et al.* (2012) desenvolveu seus estudos de qualidade das águas superficiais e subterrâneas nas planícies de Songnen - China, onde a atividade econômica principal diz respeito à produção de grãos, desta forma, o autor agrupou as análises obtidas utilizando como metodologia a Análise dos Componentes Principais. As variáveis foram correlacionadas a partir da concentração dos íons de Na, HCO_3 , Ca, NO_3 , Fe e Mn, e assim, puderam ser explicados conjuntamente. A associação e concentração dos íons Na, Ca, HCO_3 dizem respeito às reações do intemperismo, enquanto que a concentração do NO_3 indica impactos antropogênicos, já que se faz uso de fertilizantes na área. Os íons de Fe e Mn estão correlacionados a topografia, aos aquíferos e ao fluxo de água.

Nesta investigação, a ACP demonstrou uma correlação entre o Al e Fe e Ca e Mg, o que de fato constatamos essa associação antrópica e sazonal. Não houve associação entre Mn e K, já que a origem de suas presenças na água se divergem, sendo o primeiro em decorrência do uso de fungicida e o segundo atrelado à correção do pH do solo.

De acordo com a figura 6.27, o Al se distancia do pH, contrariando a literatura que afirma que, os valores de pH da água se tornam mais ácidos em decorrência dos íons de Al. Isto significa que na bacia do Córrego Sujo o Al não exerce tamanha influência no pH.

De fato nas análises não foi constatado uma relação entre a condutividade elétrica e a turbidez, sendo isto ratificado pela estatística. A turbidez não abrangeu um banco de dados muito extenso, porém a maioria das estações da bacia não apresentou grandes índices nas águas. Já que a relação entre ambos está pautada em quanto maior a quantidade de íons

dissolvidos na água, maior será a capacidade de conduzir corrente elétrica, esta relação se torna baixa ou quase inexistente ao se considerar que as águas não se apresentaram muito turbidas, no período avaliado.

A condutividade elétrica está bastante ajustada ao pH, isto porque o pH dos canais fluviais do Córrego Sujo mostrou-se com uma maior tendência a acidez, favorecendo a liberação dos íons de H^+ na água, aumentando desta forma a condutividade.

7) CONCLUSÃO

O monitoramento sazonal e das condições geoquímicas das águas superficiais contribuíram para a constatação de que as águas superficiais da bacia do Córrego Sujo encontram-se com altas concentrações para os parâmetros analisados - condutividade elétrica, turbidez, Al, Ca, Mg, Fe e K, considerando que, ao encontrar apenas um parâmetro em desconformidade com a legislação, já é suficiente para determinar a classificação da água no ponto amostral observado.

Com relação à sazonalidade, não foi possível estabelecer um padrão comum a todos os elementos em função do período chuvoso ou de estiagem, todavia na análise feita de cada parâmetro isoladamente, ficou evidente uma distribuição da concentração na variação temporal. Observou-se também que os resultados de qualidade de água estão fortemente relacionados às variáveis litopedológicas, a tipologia dos canais fluviais, a hidrodinâmica da bacia e ao uso que se faz do solo.

Outra questão constatada é que as Estações Sorvete e CPRM, pontos mais a jusante da bacia, se encontram com os níveis mais baixos de qualidade, comprovando que o processo de autodepuração na água não é eficiente o bastante para a diluição dos poluentes. Este fato é atribuído ao perfil longitudinal do relevo da bacia, que não sofre significativas variações e não possuem trechos encachoeirados com grandes desníveis.

A pesquisa também demonstra que a nascente, área de fragilidade ambiental e produtora de água, encontra-se exposta aos impactos provocados pela agricultura, estando suscetível à degradação e podendo comprometer o aproveitamento múltiplo da água. Nesse sentido, se faz necessário o aprofundamento destas investigações, incluindo o diagnóstico dos parâmetros biológicos nestes ambientes de cabeceira de drenagem com notória relevância.

Verifica-se que este estudo está em consonância com a Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei 9.433/97, ao considerar a bacia hidrográfica como unidade espacial de planejamento e ao ter selecionado pontos de monitoramento que refletiram as condições das águas, sendo possível apontar os principais problemas relacionados à sua condição.

Diante de estudos pretéritos na bacia, verifica-se que as concentrações dos poluentes aumentaram e que, os elementos físico-químicos e químicos encontram-se com maiores teores em relação às avaliações realizadas em áreas adjacentes. Isto porque, as atividades antropogênicas contribuem para que as principais fontes de poluição hídrica - relacionadas com a agricultura, a supressão da vegetação florestal e a erosão do solo, atinjam os mananciais fluviais, refletindo na degradação da qualidade da água.

Nesse sentido, é possível enquadrar as águas da bacia como Classe III, de acordo com a Resolução Conama 357/2005, com exceção do canal de primeira ordem que se encontra na localidade “Floresta Selig”. Isto evidencia que nesta bacia, de um modo geral, o uso dos compostos químicos na lavoura cresce aceleradamente, sem controle e sem supervisão dos órgãos públicos, gerando incidências de doenças na população pelo contato direto com estes produtos. Há relatos de problemas de saúde vinculados ao uso defensivos agrícolas e consumo humano direto da água a partir dos canais e nascentes. É evidente, portanto, o risco que se oferece aos sistemas ambientais, comprometendo os fluxos de matéria e energia, assim como a própria saúde humana.

Logo, os resultados deste trabalho indicam para a necessidade de continuidade das pesquisas na bacia do Córrego Sujo, assim como, a inserção da investigação da qualidade dos parâmetros inorgânicos e elementos traços nos solos e nos sedimentos. É preciso também inserir estas questões no planejamento territorial do município e na gestão da Bacia do Piabanha, uma vez que este possui um comitê estadual, desenvolvendo ações que atuem na previsão de risco, a fim de garantir a qualidade ambiental da bacia e evitar a expansão crescente e descontrolada dos cultivos agrícolas irrigados e com intenso uso de insumos agroquímicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, G., YOUSAF, M., QURESHI, R. A. Water Pollution in FimKassar Well 1A. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 3, p. 441 – 444, 2006.
- ALLOWAY, B. J. & AYRES, D. C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**. New York: Chapman & Hall, 1997. 291p.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.1, p. 81-97, jan./mar 2003.
- ALVAREZ, V. H.; FONTE, L. E. F.; FONTES, M. P. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996. 930p.
- ALVES, R. I., TONANI, K. A. A., NIKAIDO, M., CARDOSO, O. O., TREVILATO, T. M. B., SEGURA-MUÑOZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 122 – 123, 2010.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Porto Alegre: Unisinos, 2005. 165p.
- ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da Eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum de Santo Amaro da Purificação/BA**. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 2003. 238 p.
- ANTONELLI, M.; ROSON, R. The transition to the green economy in the Mediterranean region: water demand management strategies and market efficiency. In: ARDAKANIAN, R., JAEGER, D. (Org.) **Water and the Green Economy**. Bonn: United Nations University, 2012.
- ARAÚJO, I. S. **Análise das mudanças da cobertura vegetal, uso do solo e da água na agricultura irrigada – Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)**. Trabalho de conclusão de curso graduação em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.
- ARAUJO, P. C. **Avaliação da qualidade das águas dos Córregos Salvaterra e São Mateus, no município de Juiz de Fora – MG**. Trabalho de conclusão de curso graduação em Geografia. Juiz de Fora: UFJF, 2011.
- 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.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxic Substances Portal**. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov>>. Acesso em: 20 out. 2011.
- 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.

BARRETO, A. C. **Caracterização Hidrológica e dos diferentes usos do solo da Bacia do Córrego Sujo – Município de Teresópolis – RJ**. Trabalho de conclusão de curso graduação em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

BARROS, M. **Avaliação de metais pesados com ênfase em Mn e Zn em solos agrícolas do município de Teresópolis – RJ utilizando o procedimento de extração seqüencial BCR otimizado**. Dissertação de Mestrado. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2005. 167 p.

BARTRAM, J. Resources for a Monitoring Programme. 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.

BARTRAM, J., MAKELA, A., MALKKI, E. Field Work and Sampling. 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.

BRAGA, B. *et al.* Introdução a engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

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

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. N.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Orgs.): **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 162-167.

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.

_____. **Resolução CONAMA 20, 18 de junho de 1986**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1986.

_____. **Portaria 518, de 25 de março de 2004**. Disponível em: <<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2011.

_____. Normas Climatológicas: 1961-1990. Brasília: MARA/ SNI/ INMET, 1992. 84 p.

_____. Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Teresópolis. Teresópolis: Prefeitura Municipal de Teresópolis, 2006. 299 p.

- BRANCO, S. M. **Poluição: a morte de nossos rios**. São Paulo: ASCESTEB, 1983. 102 p.
- BRUM, L. B. **O Uso da Água pela Agricultura Irrigada na Região Serrana do Rio de Janeiro: Bacia do Córrego Sujo – Teresópolis**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.
- 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.
- CEIVAP - Comitê da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Decreto 38.235, de 14 de setembro de 2005**. Disponível em: <<http://www.agevap.org.br>>. Acesso em: 10 nov. 2011.
- CEPERJ - Centro Estadual de Estatísticas Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro. **Anuário Estatístico do Estado do RJ**. Disponível em: <http://http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ent/anu_online.html>. Acesso em: 03 ago. 2012.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2009.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a system approach**. London: Prentice Hall Inc. Co., 1971. 351p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler, 1999. 236p.
- COELHO NETTO, A. L. 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.
- CONNELL, D. W. **Basic concepts of environmental chemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1997.
- COSTA, D. P.; MIGUEZ, V. V. B. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, A. M. M. **Gestão territorial e meio ambiente: o caso de Teresópolis**. In: V Encontro do Instituto de Geociências - UFF, Niterói, 1998.
- DANTAS, M. E. **Mapa Geomorfológico**. Projeto Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. CD-ROM.
- DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 223p.
- DUNNE, T., LEOPOLD, L. **Water in Environmental Planning**. New York: W.H. Freeman and Company, 1978.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA – Produção de informações, 2006. 412p.

EPA - Environmental Protection Agency. Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals National Primary Drinking Water Regulations. Disponível em: <<http://water.epa.gov>>. Acesso em: 15 out. 2011.

_____. **WaterQualityConditions.** Disponível em: <<http://water.epa.gov/type/rsll/monitoring/vms50.cfm>>. Acesso em: 17 out. 2011.

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.

FAWELL, J. K. **Aluminium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.** United Kingdom: WHO, 2010.

FERREIRA *et al.* **Estudo ambiental como subsídio à metodologia para o ordenamento territorial através de análise de caso: Município de Teresópolis, RJ.** Rio de Janeiro. 1998. v. 1, 2 e 3.

GEASER, H. *et al.* **Biodiversity in Integrated Land-use Management for Economic and Natural System Stability in the Mata Atlântica of Rio de Janeiro, Brazil (BLUMEN).** Project-No.: 01 LB 0204, 2005.

GINÉ, M. F. **Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma (ICP-MS).** Piracicaba: CENA, 1999.

GUERRA, A. J. T. A erosão de solos no contexto social. **Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 14-23, 1994.

HACK. **WaterAnalysisHandbook.** Pennsylvania: The company, 2008.

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.

HARPER, H.; OLIVEIRA, A. P. Determinação de Elementos-Traço em Solos e Lodos de Esgoto por ICP-OES. **Revista Analytica**, nº 23, p. 53-59, 2006.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: W. Teixeira; T. R. Fairchild; M. Cristina M. de Toledo; F. Taioli. (Org.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

HOUNSLOW, A. W. **WaterQuality Data: Analysis and Interpretation.** CRC Lewis Publishers, Boca Raton, p. 86-87, 1995.

IBGE. **Carta Topográfica Anta.** Rio de Janeiro, 1973. Escala: 1:50.000.

_____. **Carta Topográfica Teresópolis.** Rio de Janeiro, 1983. Escala: 1:50.000.

_____. **População de Teresópolis.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=330580>>. Acesso em: 05 jul. 2012.

JAGESSAR, R. C., ALLEYNE, O. Determination of Nitrate anions concentrations in Waste Water from selected areas of Coastal Guyana via a spectrophotometric method. **International Journal of Academic Research**, Baku (Azerbaijan), v. 3, n.1, p. 443 – 453, 2011.

JAMES, H. K., GIBB, H. J. HOWE, P. D. **Cobalt and inorganic Cobalt Compounds**. United Kingdom: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2006.

JOHNSON, L.B., RICHARDS, C., HOST, G.H., ARTHUR, J.W. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology*, n. 37, p. 193-208. 1997.

JORGENSEN, S. E.; LOFFLER, H. **Guidelines of Lake Management**. United Nations Environment Programme, 1997. 174 p.

KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2009.

KENDALL, M. G. **Multivariate Analysis**. London: Griffin, 1980. 210 p.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: Aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995. 171p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação de solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 178p.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de Água**. Campinas: Átomo, 2008.

_____. **Gestão das Águas, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997.

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.

_____. **Indicadores ambientais e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil / Difel, 2011. 688p.

MAKELA, A., MEYBECK, M. Designing a Monitoring Programme. 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.

MENEZES, C. E. E. **Parâmetros hidrológicos e erosivos obtidos em parcelas experimentais, bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)**. Trabalho de conclusão de curso graduação em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. 42p.

MEYBECK, M.; KUUSISTO, E.; MÄKELÄ, A.; MÄLKKI, E. Water Quality. 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.

- MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- NUNES, M.C. **Influência da água de irrigação na qualidade das hortaliças cultivadas na Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ**. Dissertação de Mestrado em Ciências de Alimentos. 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.
- OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F. C. **Irrigação e Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 06 out. 2012.
- ONGLEY, E. D. **Control of Water Pollution from Agriculture** - FAO Irrigation and Drainage Paper 55. Canada: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Declaração Final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável – Rio +20**. Rio de Janeiro: Organização das Nações Unidas, 2012.
- OVALLE, R. C. O. **Estudo geoquímico de águas fluviais na bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Dissertação de Mestrado em Geoquímica. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 1985. 85p.
- 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.
- 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, 1999.
- REIS, E. **Estatística Multivariada Aplicada**. Lisboa: Sílabo, 1997.
- 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 de Mestrado em Geociências. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. 196 p.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2007. 220 p.
- ROHDE, G. M. **Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto**. São Paulo: Signus, 2004.
- RUMP, H. H. **Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water, and Soil**. Frankfurt: Wiley-VCH, 1999.
- SABAHI, E. A., RAHIM, S. A., ZUHAIRI, W. Y. W., NOZAILY, F. A., ALSHAEBI, F. The Characteristics of Leachate and Groundwater Pollution at Municipal Solid Waste Landfill of

Ibb City, Yemen. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 5, n. 3, p. 256 – 266, 2009.

SANTOS, I. *et al.* **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SANTOS, N. A. P. **Uma Abordagem metodológica para determinar a influência do uso e da cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na bacia do Rio das Velhas**. Dissertação de mestrado em Geografia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**. San Diego: Academic, 1996.

SILVA, L. C., CUNHA, H. C. S. **Mapa Geológico**. Projeto Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, 2001. CD-ROM.

SOUZA, J. M. P. F. **Perdas por erosão e características físico-hídricas de latossolo em função do preparo solo em oleráceas no ambiente de mar de morros, Paty do Alferes (RJ)**. Dissertação de mestrado em Agronomia. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.

SPACE IMAGING DO BRASIL. **Especificações GeoEye-1**. Disponível em: <<http://www.spaceimaging.com.br/novosite11/geoeye.php>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

STUMM, W.; MORGAN, J.J. **Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 1022 p.

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

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A. F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 325-365.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 2002.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

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

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

VOZNAYA, N. F. **Chemistry of Water & Microbiology**. Moscow: Mir Publishers Moscow, 1982. 347 p.

ZHANG, B; SONG, X; ZHANG, Y; HAN, D.; TANG, C; YU, YILEI, Y.; MA, Y. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. **Water Research**, v. 46, p. 2737 – 2748, 2012.

WHO – World Health Organization. **Air Quality Guidelines**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2001.

_____. **Potassium in drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. Geneva: World Health Organization, 2009.

_____. **Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum**. Geneva: World Health Organization, 2008.

Anexo 01

Para a determinação das concentrações dos metais nas amostras de água de rio, utilizou-se um espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES), com configuração de visão dupla (axial e radial), marca ThermoScientific, modelo iCAP 6300 (Cambridge, Inglaterra), equipado com câmara de nebulização ciclônica, nebulizador do tipo MiraMist (Mira Mist CE, BurgenerResearch Inc., Ontario, Canadá), detector do tipo dispositivo de carga acoplado (CCD) e software operacional iTEVA 2.0. Todas as determinações foram realizadas na vista axial utilizando curvas analíticas com cinco soluções-padrão para a calibração e a quantificação foi realizada por interpolação. As soluções de calibração de Al, Fe, K, Mg e Mn foram preparadas a partir da diluição de soluções-padrão estoque na marca SpecSol de concentração 1.000 mg L⁻¹ (Quimlab Química & Metrologia[®], Jardim Califórnia, Jacareí, São Paulo, Brasil), até obtenção das concentrações desejadas, utilizando água ultrapura obtida de um sistema Milli-Q[®], modelo Direct 8 (Merck Millipore, Billerica, Massachusetts, EUA).

As condições operacionais do instrumento são apresentadas na tabela A-01.

Tabela A - 01: Condições operacionais para o ICP OES utilizadas na determinação de metais em água.

Parâmetro	Valor
Potência incidente (W)	1350
Vazão de gás do plasma (L min ⁻¹)	15
Vazão de gás auxiliar (L min ⁻¹)	1,5
Pressão do nebulizador (bar)	0,2
Velocidade de rotação da bomba peristáltica durante a introdução de amostra (rpm)	50
Tempo de integração (s)	1
Número de replicatas de leitura	3
	Al: $\lambda = 309,271$ (axial)
	Ca: $\lambda = 393,366$ (radial)
	Fe: $\lambda = 259,940$ (axial)
	K: $\lambda = 766,490$ (axial)
	Mg: $\lambda = 279,553$ (axial)
	Mn: $\lambda = 257,610$ (axial)

Anexo 02

Tabela A - 02: Especificações das imagens de satélite Geoeye1

Resolução Espacial	0.41 m no Pancromático (P&B) 1.64 m no Multispectral (colorido)		
Sensibilidade Pancromático	Espectral	no	450-900 nm
Sensibilidade Multispectral	Espectral	no	Azul: 450-520 nm Verde: 520-600 nm Vermelho: 625-695 nm Infra Vermelho: 760-900 nm
Faixa imageada	15.2 km		
Capacidade de Visada Lateral	Até 60 Graus		
Quantificação	11 bits por pixel		
Altitude	684 km		

Fonte: Space Imaging do Brasil (2012)