

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA – UFJF

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Programa de Pós-Graduação em Ecologia - PGECOL

**Qualidade da água e uso da terra na Bacia de Contribuição da
Represa de São Pedro, Juiz de Fora - MG**

Fabiano Amarante de Freitas

Juiz de Fora

2015

FABIANO AMARANTE DE FREITAS

**Qualidade da água e uso da terra na Bacia de Contribuição da
Represa de São Pedro, Juiz de Fora - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Área de concentração: Ecologia Aquática;
Análise Ambiental; Geografia

Orientador: Prof. Dr. César Henrique Barra
Rocha

Mestrando: Fabiano Amarante de Freitas

Juiz de Fora

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Freitas, Fabiano Amarante de .
Qualidade da água e uso da terra na Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro, Juiz de Fora - MG / Fabiano Amarante de Freitas. -- 2015.
144 f. : il.

Orientador: Cézar Henrique Barra Rocha
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2015.

1. Mercantilização da água. 2. Índice de Qualidade das Águas (IQA). 3. Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais (AF/ACP). 4. Especulação imobiliária. I. Rocha, Cézar Henrique Barra, orient. II. Título.

FABIANO AMARANTE DE FREITAS

**Qualidade da água e uso da terra na Bacia de Contribuição da
Represa de São Pedro, Juiz de Fora - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. César Henrique Barra Rocha
Orientador – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Pedro José de Oliveira Machado
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Henrique da Silva Pizzo
Companhia de Saneamento Municipal – CESAMA

Dedico estas páginas à classe trabalhadora desse país, que muitas vezes passa sede por não ter acesso ou por não poder pagar por esse bem maior: a água.

Dedico também às pessoas que fazem parte da minha vida, sem as quais eu nada seria.

Mencionarei apenas meus pais: Fábio José Rezende Freitas e Neuza Eterna do Amarante Freitas, para que, por ventura, não cometa a injustiça de esquecer algum nome.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar e por segurar minhas mãos quando tropecei ao longo da jornada.

Manifesto minha total gratidão aos meus pais: Fábio José Rezende Freitas e Neuza Eterna do Amarante Freitas pelo constante incentivo; à minha noiva Juliana pelo apoio e compreensão nos momentos de trabalho duro; à minha irmã Francine pela força. Não posso deixar de mencionar os demais familiares que torceram por mim e os amigos que estiveram ao meu lado durante esse tempo, vocês foram verdadeiros companheiros de caminhada.

Toda essa jornada não seria possível sem a orientação do professor Dr. César Henrique Barra Rocha que coordena todos os trabalhos desenvolvidos em nosso núcleo de pesquisa sempre preocupado em oferecer um retorno com contribuições à sociedade. Meu sincero reconhecimento e gratidão.

Agradeço também aos membros do Núcleo de Análise Geo-Ambiental – NAGEA, sem suas contribuições, trabalho em equipe e amizade eu não teria conseguido. Aos membros do Laboratório de Ecologia Aquática – LEA da UFJF, em especial o Professor Dr. Fábio Roland e o técnico laboratorista Gladson.

Meus reconhecimentos à Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais - PGECOL e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de mestrado;

Ao funcionário terceirizado da UFJF Sebastião pela simpatia e preocupação com o bem estar do grupo de pesquisa.

Eu conheço bem a fonte
Que desce aquele monte
Ainda que seja de noite
Nessa fonte está escondida

O segredo dessa vida
Ainda que seja de noite
"Êta" fonte mais estranha,
que desce pela montanha
Ainda que seja de noite.

Sei que não podia ser mais bela
Que os céus e a terra, bebem dela
Ainda que seja de noite

Sei que são caudalosas as correntes
Que regam os céus, infernos
Regam gentes
Ainda que seja de noite
Aqui se está chamando as criaturas

Que desta água se fartam mesmo
às escuras
Ainda que seja de noite
Ainda que seja de noite...

Eu conheço bem a fonte
Que desce daquele monte
Ainda que seja de noite
Porque ainda é de noite!
No dia claro dessa noite!
Porque ainda é de noite

(Água Viva – Raul Seixas)

RESUMO

Na atual conjuntura neoliberal, o bem água tem sido transformado em um dos principais “objetos” de compra e venda. As crises de gestão, agravadas pela diminuição das chuvas dos últimos anos colocou em cheque a garantia do acesso a esse bem. A Represa de São Pedro é um exemplo característico dessa situação. Atualmente supre cerca de 8% do abastecimento público de Juiz de Fora/MG. Sua bacia de contribuição sofre acelerado processo de ocupação e forte pressão imobiliária, onde a manutenção das Áreas de Preservação Permanente – APPs é deixada de lado. O monitoramento de variáveis limnológicas possibilita inferir sobre as condições do recurso hídrico, além de oferecer indicativos da dinâmica natural ou antrópica compreendida na bacia hidrográfica que irão refletir nas condições da água. Assim, a presente pesquisa teve por objetivo identificar as relações existentes entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água da Bacia de contribuição da Represa de São Pedro - BCRSP, monitorada através do levantamento de dados limnológicos, índice de qualidade das águas (IQAs) e análises estatísticas multivariadas. Foram analisados 15 parâmetros mensalmente durante o período de maio de 2012 a abril de 2014 em quatro pontos de monitoramento: nascente do córrego São Pedro – P1, exutório do córrego São Pedro (na represa) – P2, exutório do córrego Grota do Pinto (na represa) – P3 e captação – P4. A metodologia seguiu os preceitos de APHA (2012). Além disso, foi elaborada, através de imagens do satélite *Landsat 8* e de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, uma carta de uso e cobertura da terra da BCRSP extraindo as seguintes classes: mata, pasto, área com processo erosivo atuante, área ocupada, vegetação de alagado e represa. A quantificação dessas classes foi relacionada aos resultados das análises estatísticas e do IQA, contribuindo na verificação dos fatores atuantes sobre a qualidade e quantidade das águas. Procedeu-se à comparação dos resultados das variáveis pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) número 357 de 17 de março de 2005 e alguns parâmetros extrapolaram fortemente as prerrogativas estabelecidas para a classe 1 a qual o córrego São Pedro é enquadrado. Os IQAs da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) adaptado foram utilizados no intuito de verificar as condições de qualidade das águas da bacia. O IQA médio no P1 e P4 pelo IGAM adaptado foi classificado como “bom”, já no P2 e P3 como “médio. Pelos critérios da CETESB não ocorreram distinções, classificando a água em todos os pontos como “boa”. A análise fatorial juntamente

com a análise de componentes principais (AF/ACP) foi empregada visando à identificação dos parâmetros mais influentes na variação total dos dados e quais carecem de monitoramento contínuo. A identificação dos fatores latentes às variáveis de destaque em cada componente permitiu inferir sobre os fenômenos que condicionam alterações na dinâmica dessas e assim corroborar na gestão. Os resultados da AF/ACP indicaram que a dinâmica das variáveis no P1 é complexa e se relaciona, na maioria das vezes, a fatores naturais que necessitam de maiores investigações. Nos demais pontos, pode-se dizer que o escoamento superficial e a poluição pontual por despejos de esgoto se caracterizaram como os principais fatores latentes às componentes encontradas após aplicação do fator Varimax – FV. Os resultados demonstraram o quanto a ocupação desordenada e o elevado revolvimento de terras influenciam negativamente na qualidade das águas do manancial em questão. Concluiu-se que os resultados de todas as análises apontaram para um problema comum: os interesses especulativos sobressaem aos interesses comuns.

Palavras-chave: Mercantilização da água. Índice de qualidade das águas (IQA). Análise fatorial/análise de componentes principais (AF/ACP). Especulação imobiliária.

RESUMÉ

Dans l'actuelle conjoncture néolibérale, l'eau s'est transformée en une des principales marchandises. Les crises de gestion, aggravées par la diminution des précipitations ont remis en question l'accès à ce bien. Le réservoir de São Pedro est un exemple caractéristique de cette situation. Il participe actuellement à 8% de l'approvisionnement en eau potable de Juiz de Fora/MG. Son bassin de contribution est impacté par un processus d'occupation et une forte pression immobilière, la conservation des Aires de Protection Permanente – APPs est laissée de côté. La surveillance des variables limnologiques permet de définir l'état de la ressource hydrique, en plus de d'offrir des informations sur la dynamique naturelle ou anthropique du bassin versant et qui se reflètent sur la qualité de l'eau. Ainsi, la présente recherche a eu pour objectif d'identifier les relations existantes entre l'usage et la couverture du sol, et la qualité de l'eau dans le bassin de contribution du réservoir de São Pedro, surveillée à travers les variables limnologiques, Indices de Qualité de l'Eau (IQEs), et des analyses statistiques multi-variées. Quinze paramètres de qualité de l'eau ont été analysés mensuellement durant la période de Mai 2012 à Avril 2014 pour quatre points de collecte : Source du ruisseau São Pedro – P1, embouchure du ruisseau São Pedro (dans le réservoir) – P2, embouchure du ruisseau Grotta do Pinto (dans le réservoir) – P3 et captage dans le réservoir – P4. La méthodologie a suivi les préceptes de l'APHA (2012). En outre, une carte d'usage et couverture du sol fut élaborée à partir des images du satellite *Landsat 8* et de données mises à disposition par l'Institut Brésilien de Géographie et de Statistiques – IBGE, délimitant les classes suivantes : forêt, pâturage, zones subissant un processus érosif, aires occupées, lit majeur et réservoir. Cette carte d'usage et occupation du sol a été corrélée avec les résultats des analyses statistiques et de l'IQE, et a contribué à la vérification des facteurs qui influent sur la quantité et la qualité de l'eau. Il a été procédé à la comparaison des résultats des analyses avec les valeurs de la Résolution du Conseil National de l'Environnement (CONAMA) numéro 357 du 17 Mars 2005 et quelques paramètres dépassent lourdement les prérogatives établies pour la Classe 1 à laquelle le ruisseau São Pedro appartient. Les IQEs de la Compagnie Environnementale de l'État de São Paulo (CETESB) et de l'Institut du Minas Gerais de Gestion des Eaux (IGAM) adapté ont été utilisés pour vérifier la qualité des eaux du bassin de contribution. L'IQE moyen pour les points P1 et P4 selon l'IGAM adapté fut « bon » et pour le P2 et le P3 il fut « moyen ». Selon les critères de la CETESB il n'y a pas eu de distinctions entre les points, tous les points ont été classifiés comme « bon ». L'Analyse

Factorielle conjointement avec l'Analyse en Composantes Principales a été employée pour l'identification des paramètres les plus influents dans la variation totale des données et donc ceux qui seraient les plus intéressants de surveiller régulièrement. L'identification des facteurs latents aux paramètres de qualité l'eau ont permis d'inférer sur la nature des phénomènes qui conditionnent les altérations de ces paramètres et ainsi collaborer dans la gestion du bassin versant du réservoir. Les résultats de l'AF/ACP indiquèrent que la dynamique des paramètres de qualité de l'eau pour le P1 est complexe et qu'elle est due, la plupart du temps, à des facteurs naturels, nécessitant tout de même plus de recherches. Pour les autres points, le ruissellement et la pollution ponctuelle par des eaux d'égouts sont les variables latentes qui caractérisent les composantes principales (FV) après l'application de l'algorithme de rotation Varimax. Les résultats démontrèrent à quel point l'occupation désordonnée et les mouvements de terre dans le bassin de contribution influencent de manière négative les eaux destinés à l'approvisionnement public. Les résultats des analyses montrent un problème commun : les intérêts particuliers, spéculatifs, surpassent l'intérêt public.

Mots-clés : marchandisation de l'eau. Indice de Qualité de l'Eau (IQE). Analyse Factorielle / Analyse en Composantes Principales (AF/ACP). Spéculation Immobilière.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Situação da Represa de São Pedro devido aos baixos índices pluviométricos e conflitos de uso da terra na sua Bacia.....	31
Figura 2: Exemplo de curvas médias de variação da qualidade das águas para cada parâmetro..	40
Figura 3: Localização da bacia de contribuição da represa de São Pedro.....	59
Figura 4: Nascente do córrego São Pedro - P1.....	60
Figura 5: Exutório do Córrego São Pedro na represa - P2.	61
Figura 6: Exutório do córrego Grota do Pinto na represa – P3..	61
Figura 7: Captação da Represa de São Pedro – P4.....	62
Figura 8: Composição de bandas 4, 3, 2 e 8 - Landsat 8 – 02/08/2013.....	70
Figura 9: Carta de uso e cobertura da terra da BCRSP.	71
Figura 10: Nascente do Córrego São Pedro – P1.	93
Figura 11: Despejo de lixo e resíduos da construção civil próximo ao P2.....	95
Figura 12: Lixo eletrônico, entulho e outros materiais próximos ao P2.	95
Figura 13: Foto sobre o ponto de monitoramento P3 com vista para granjas e esgoto doméstico.....	97
Figura 14: Elevada turbidez da água no exutório do córrego São Pedro – P2..	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Intervalo de valores e respectivas cores para o IQA NSF.....	41
Tabela 2: Intervalo de valores e respectivas cores para o IQA CETESB.....	42
Tabela 3: Variáveis utilizadas e respectivos pesos dos parâmetros que compõem o IQA.....	43
Tabela 4: Valores de referência para cada parâmetro de acordo a Resolução CONAMA nº 357/2005.....	47
Tabela 5: Valores e percentuais de cada classe de uso e cobertura da terra na BCRSP em 2013.....	67
Tabela 6: Classes de uso e cobertura da terra da BCRSP em momentos distintos.....	73
Tabela 7: Cálculo dos IQAs IGAM adaptado e CETESB.....	90
Tabela 8: Média global do IQA IGAM adaptado e CETESB.....	91
Tabela 9: Média do IQA IGAM adaptado e CETESB por período.....	91
Tabela 10: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P1- Nascente do córrego São Pedro.....	92
Tabela 11: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P2 - Exutório do córrego São Pedro.....	94
Tabela 12: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P3 - exutório do córrego Grotta do Pinto.....	98
Tabela 13: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P4 - captação da Represa de São Pedro.....	99
Tabela 14: Resultados do teste de esfericidade de Bartlett e KMO.....	100
Tabela 15: Matriz de correlações entre as variáveis no P1.....	101
Tabela 16: Matriz de correlações entre as variáveis monitoradas no P1e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.....	102
Tabela 17: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais no P1.....	103
Tabela 18: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais após rotação Varimax no P1.....	104

Tabela 19: Matriz de correlação entre as variáveis no P2.	108
Tabela 20: Matriz de correlações entre as variáveis do P2 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.	109
Tabela 21: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais no P2.	110
Tabela 22: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais após rotação Varimax no P2.	110
Tabela 23: Matriz de correlação entre as variáveis no P3.	114
Tabela 24: Matriz de correlações entre as variáveis do P3 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.	114
Tabela 25: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas quatro primeiras componentes principais no P3.	115
Tabela 26: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas quatro primeiras componentes principais após rotação Varimax no P3.	116
Tabela 27: Matriz de correlação entre as variáveis no P4.	119
Tabela 28: Matriz de correlações entre as variáveis do P4 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.	119
Tabela 29: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas três primeiras componentes principais no P4.	120
Tabela 30: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas três primeiras componentes principais no P4 após rotação Varimax.	121

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Valores de pH nos diversos pontos monitorados.	75
Gráfico 2: Valores de sólidos totais nos diversos pontos monitorados.	76
Gráfico 3: Valores de condutividade elétrica nos diversos pontos monitorados.....	77
Gráfico 4: Valores de turbidez nos diversos pontos monitorados.	78
Gráfico 5: Valores de oxigênio dissolvido para os diversos pontos monitorados.....	79
Gráfico 6: Valores de oxigênio consumido para os diversos pontos monitorados.....	80
Gráfico 7: Valores de DQO nos diversos pontos monitorados.	81
Gráfico 8: Valores de DBO _{5,20} nos diversos pontos monitorados.	81
Gráfico 9: Valores de nitrogênio total nos diversos pontos monitorados.	83
Gráfico 10: Valores de amônio (NH ₄) para os diversos pontos monitorados.	84
Gráfico 11: Valores de nitrito para os diversos pontos monitorados.	85
Gráfico 12: Valores de nitrato nos diversos pontos monitorados.....	86
Gráfico 13: Valores de ortofosfato nos diversos pontos monitorados.	86
Gráfico 14: Valores de fósforo total para os pontos de monitoramento P1, P2 e P3.	87
Gráfico 15: Valores de fósforo total para o ponto de monitoramento P4.....	88
Gráfico 16: Valores de coliformes termotolerantes para os diversos pontos monitorados.	89

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP – Análise de componentes principais
AF – Análise fatorial
ANA – Agência Nacional de Águas
APP – Área de Preservação Permanente
BCRSP – Bacia de contribuição da Represa de São Pedro
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CE – Condutividade elétrica
CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
CP – Componente principal
Cs – Concentração de saturação
CT – Coliformes termotolerantes
DBO_{5,20} – Demanda bioquímica de oxigênio
DN – Deliberação normativa
DQO – Demanda química de oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI – Environmental Performance Index
ETE – Estação de tratamento de esgoto
FMI – Fundo Monetário Internacional
FV – Componente principal após fator Varimax
IAP – Índice de qualidade da água bruta par fins de abastecimento público
IB – Índice de balneabilidade
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE – Índice de conformidade de enquadramento
IET – Índice de estado trófico
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IQA – Índice de Qualidade das Águas
IVA – Índice de preservação da vida aquática
KMO – Teste estatístico (Kaiser-Meyer-Olkin)
LADINAA – Laboratório Dinâmico de Análise Ambiental
LEA – Laboratório de Ecologia Aquática
LIDAR – Light Detection And Ranging
MG – Minas Gerais
mg/L ou mg. L-1 - Miligrama por litro
N₂ – Gás nitrogênio
NAGEA – Núcleo de Análise Geo-Ambiental
NH₄ – Amônio
NO₂ – Nitrito
NO₃ – Nitrato
NSF – National Sanitation Foundation
NT – Nitrogênio total
OC – Oxigênio consumido
OD – Oxigênio dissolvido
OMM – Organização Meteorológica Mundial
ONU – Organização das Nações Unidas
P1 – Ponto amostral nascente do córrego São Pedro
P2 – Ponto amostral exutório do córrego São Pedro na Represa
P3 – Ponto amostral exutório do córrego Grota do Pinto na Represa
P4 – Ponto amostral captação da Represa de São Pedro
PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
pH – Potencial hidrogeniônico
PO₄ – Ortofosfato
PT – Fósforo total
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SI – Saprobic Index
ST – Sólidos totais
Tur – Turbidez
UFC – Unidade formadora de colônia
UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

UNT – Unidades Nefelométricas de turbidez

USA – Estados Unidos da América

UTM – Universal Transverso de Mercator

WGS 84 – World Geodetic System 1984

$\mu\text{g/L}$ ou $\mu\text{g. L}^{-1}$ – micrograma por litro

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	21
2 - OBJETIVO.....	26
2.1 - Objetivos específicos	26
3 - REVISÃO DA LITERATURA.....	27
3.1 - Água	27
3.2 - A bacia hidrográfica como unidade territorial de estudos.....	33
3.3 - Breve Histórico do Índice de Qualidade das Águas – IQA.....	37
3.4 - Parâmetros de qualidade de águas.....	44
3.4.1 - Sólidos presentes na água	44
3.4.2 - Temperatura.....	46
3.4.3 - Turbidez.....	46
3.4.4 - Condutividade elétrica.....	48
3.4.5 - Potencial hidrogeniônico - pH.....	48
3.4.6 - Série Nitrogênio.....	49
3.4.7 - Fósforo.....	50
3.4.8 - Oxigênio dissolvido.....	51
3.4.9 - Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO _{5,20}	53
3.4.10 - Demanda Química de Oxigênio – DQO.....	54
3.4.11 - Oxigênio consumido.....	55
3.4.12 - Coliformes termotolerantes	55
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1 - Caracterização da área de estudo	57
4.2 - Levantamento de dados.....	60
4.3 - Cálculo dos Índices de Qualidade das Águas - IQAs.....	63
4.4 - Análise Fatorial / Análise de Componentes Principais – AF/ACP.....	64
4.5 - Elaboração da carta de uso e cobertura da terra da Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro.....	66
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1 – Uso e cobertura da terra na Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro	67
5.1.1 - Nascente do córrego São Pedro – P1.....	68
5.1.2 - Sub-bacia do córrego São Pedro até o ponto – P2.....	68

5.1.3 - Sub-bacia do córrego Grota do Pinto até o ponto P3	72
5.1.4 - Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro - BCRSP	72
5.2 - Comportamento das variáveis ao longo da pesquisa.....	74
5.2.1 - Potencial hidrogeniônico - pH.....	74
5.2.2 - Sólidos totais	75
5.2.3 – Condutividade elétrica	76
5.2.4 – Turbidez	77
5.2.5 - Oxigênio dissolvido.....	78
5.2.6 - Oxigênio consumido.....	80
5.2.7 - Demanda química de oxigênio - DQO	80
5.2.8 - Demanda bioquímica de oxigênio - DBO _{5,20}	81
5.2.9 - Nitrogênio total.....	82
5.2.10 - Amônio (NH ₄)	83
5.2.11 - Nitrito (NO ₂).....	84
5.2.12 - Nitrato (NO ₃)	85
5.2.13 - Ortofosfato (PO ₄).....	86
5.2.14 - Fósforo total (PT)	87
5.2.15 - Coliformes termotolerantes	88
5.3 – Resultados do Índice de Qualidade das Águas - IQA (IGAM adaptado e CETESB).....	89
5.3.1 – Resultados do IQA na nascente do córrego São Pedro – P1.....	90
5.3.2 – Resultados do IQA no exutório do córrego São Pedro – P2.....	93
5.3.3 – Resultados do IQA no exutório do córrego Grota do Pinto – P3	96
5.3.4 – Resultados do IQA na captação da Represa de São Pedro – P4	98
5.4 – Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais	100
5.4.1 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais na Nascente do Córrego São Pedro – P1	101
5.4.2 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais no Exutório do Córrego São Pedro – P2.....	107
5.4.3 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais no exutório do córrego Grota do Pinto – P3	113
5.4.4 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais na Represa de São Pedro – P4.....	118
5.4.5 - Considerações gerais sobre os resultados da AF/ACP nos diversos pontos amostrais	122

5.5 - Considerações sobre a urbanização e os resultados encontrados.....	124
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
7 - REFERÊNCIAS	130
8 - ANEXOS.....	137

1 - INTRODUÇÃO

O contexto de desenvolvimento técnico e científico vivenciado na atualidade contrasta com as crises no âmbito social e ambiental, bem como entre o social e o ambiental. Como afirma Freitas (2010), a distinção que muitas vezes impede uma abordagem ampla nas relações entre o homem e a natureza e os reflexos que as atividades antrópicas implicam ao ambiente passou a existir ao longo de processos históricos que com o tempo levaram a humanidade a perder parte de sua identidade com o meio natural em que vive e que remonta suas origens. Para Gonçalves (2008), no princípio essas relações eram permeadas de mitos, rituais e magia, pois se tratavam de relações divinas.

Na concepção de muitos povos tradicionais, em especial os indígenas, ainda existe uma noção muito maior do homem como parte inseparável do ambiente natural que tudo provém. Uma relação sagrada, um envolvimento íntimo, que nas palavras do Chefe Seattle ao presidente dos Estados Unidos em 1854 remete à consideração sagrada e familiar sobre a terra. Foram muitas as versões e traduções dos dizeres do Cacique Seattle, mas a essência de tais palavras alimenta a necessidade de ressignificação do meio ambiente para a sociedade moderna, pois faz ressoar quão limitada é a concepção materialista e tecnicista do homem na atualidade. Essa visão, embora amparada pela sacralidade científica, apenas paira pelas imposições ideológicas da sociedade de consumo neoliberal que caminha em passos largos em direção à mercantilização da natureza com seus recursos e serviços ecológicos referidos, outrora, como capital natural (TUNDISI & TUNDISI, 2010). Em outras palavras,

Como o mundo é governado das cidades onde os homens se acham desligados de qualquer forma de vida que não a humana, o sentimento de pertencer a um ecossistema não é revivido. Isso resulta em um pensamento implacável e imprevidente de coisas, das quais, em última análise, dependemos, tais como a água e as árvores (BERTRAND DE JUVENEL, *In*: RIBEIRO, 1987, p. 11).

Há grande dificuldade de perceber a natureza como um grande sistema do qual os seres humanos fazem parte e são capazes de interferir fortemente nos fluxos energéticos, na ciclagem dos elementos, nas suas estruturas físicas, na vida, etc. Na atualidade se atribui à natureza um caráter de raridade e mercadológico devido à destrutividade que o homem com seu sistema político e econômico impõe. Segundo Porto-Gonçalves (1996), até se iniciarem os debates sobre os limites do crescimento econômico na Organização das Nações Unidas –

ONU, a noção de crescimento econômico e de desenvolvimento não tinha limites. Acreditava-se que desenvolvimento significava sair da natureza, torná-la dominada, instrumentalizada, reduzindo sua riqueza à categoria de recurso que pode ser entendido como um meio para se alcançar um fim. O mesmo autor considera que

essa visão instrumental de mundo não se restringe apenas à ideia de recursos naturais e revela toda sua ambiguidade quando vemos que, também, se fala de Recursos Humanos e, assim, o homem também aparece como um meio para se atingir um fim: o desenvolvimento (PORTO-GONÇALVES, 1996, p. 12).

Assim, tanto o trabalho humano, quanto os recursos naturais passaram a ser considerados mercadorias passíveis de compra e venda.

Claramente se percebe a existência de algo que impulsiona toda a lógica de crescimento econômico e desenvolvimentista que traz junto de si as atuais crises socioambientais. Para Porto-Gonçalves (2012), o desafio ambiental está no centro das contradições do mundo moderno-colonial, uma vez que a ideia de progresso e sua versão mais atual, desenvolvimento, é rigorosamente de dominação da natureza, afinal, ser desenvolvido é ser urbano, é ser industrializado, enfim é ser tudo aquilo que nos afaste da natureza. Para esse autor

(...) desenvolver é tirar o envolvimento (a autonomia) que cada cultura e cada povo mantêm com seu espaço, com seu território; é subverter o modo como cada povo mantêm suas próprias relações de homens (e mulheres) entre si e destas com a natureza; é não só separar os homens (e mulheres) da natureza como também separá-los entre si, individualizando-os, o que envolve uma nova configuração societária, a capitalista e, portanto, mercantil (...) (PORTO-GONÇALVES, 2012, p. 39).

Contudo, partindo dos países aos quais eram e ainda são considerados desenvolvidos, surgiram movimentos que questionaram o modelo de desenvolvimento pautado na ausência de limites das intervenções humanas sobre a natureza, no consumismo, no militarismo. Iniciou-se uma série de debates acerca da situação ambiental que culminaram com a introdução da ideia de “desenvolvimento sustentável”. Porém, esse modelo é passível de críticas irrefutáveis e de interesses capitalistas envolvidos.

Para Freitas *et al.* (2012) se a transformação da natureza em fonte de lucro desenhava-se desde a acumulação primitiva, é no capitalismo tardio que se evidenciam as profundas contradições desse processo. Esses autores enfatizam o fato de que os acentuados níveis de destrutividade impõem a adoção de novas táticas e estratégias visando a sua reprodução.

Arquiteta-se um novo modelo de gestão ambiental pautado na economia verde e no desenvolvimento sustentável, bem como em suas tecnologias como forma de suplantar as

demandas ambientais e de mercado. Essas, só fazem garantir a continuidade ao invés da ruptura de paradigmas ambientais no processo em curso (FREITAS *et al.*, 2012; PORTO-GONÇALVES, 1996; RIBEIRO, 2012; ZACARIAS, 2012). Esse novo modelo não critica a destrutividade imposta pelo consumismo e pela obsolescência programada. O discurso do desenvolvimento sustentável concebido pela ONU se caracteriza como um discurso neoliberal e sujeito à autorregulação do mercado que trás como produto final a Agenda 21. É um discurso que se mantém graças ao protagonismo empresarial e estatal do marketing ambiental. Neste documento, o caminho para o desenvolvimento sustentável não internaliza a crítica ao livre-mercado, tampouco considera suas engrenagens estruturais e a ideologia que interfere diretamente no consumo dos recursos naturais. Segundo esse documento, o valor ambiental está em realizar mais com menos ou em facilitar e encorajar a competição mercantil, sem que se questione ou avalie como estes mecanismos podem agir sobre as desigualdades sociais ou sobre a manutenção dos recursos ecológicos da natureza (RIBEIRO, 2012).

Sob a perspectiva do lucro, os espaços urbanos vão sendo edificados. A especulação é que dita os ritmos de crescimento. Os espaços naturais assumem um caráter de raridade e passam a ser fortemente valorizados nos ambientes urbanos. Nestes locais erguem-se condomínios luxuosos dotados de infraestrutura e segurança privada. A cidade torna-se um espaço compartimentado com pouco ou nenhum planejamento. Assim, suprir as cidades com todas as suas demandas torna-se um desafio. A água se caracteriza como uma das principais demandas. Dela tudo depende, inclusive a própria existência da cidade. Uma crise de água pode significar, como a própria História já comprovou, a crise de toda uma civilização.

Garantir o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas requer, não apenas planejamento, mas o rompimento com a lógica de especulação dos espaços urbanos e com a política de mercantilização desse bem.

A bacia hidrográfica deve ser utilizada como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997) e sobre essa fatia do território é possível verificar conflitos relacionados aos interesses de uso e cobertura da terra que implicam diretamente na qualidade e quantidade de água disponível. Assim, no sentido de corroborar com o planejamento e gestão da água, bem como suscitar questões relativas ao acesso a esse bem, a Bacia de contribuição da Represa de São Pedro - BCRSP foi utilizada como objeto de estudo do presente trabalho. Esta bacia caracteriza-se como um dos mananciais da cidade de Juiz de Fora/MG que, entretanto, enfrenta problemas de incompatibilidade do uso e cobertura da terra com o fim que lhe é atribuído – abastecimento público.

Tal área vem sofrendo acelerado processo de ocupação, que remonta a década de 1970 com a construção da variante da BR 040 e com a elaboração do “Projeto Cidade Alta” pela prefeitura municipal que visava à ocupação efetiva da região (MACHADO, 1998). Atualmente, a transformação da Via São Pedro em BR440 gera impactos diretos neste manancial. Acrescenta-se a intensa ocupação e pressão imobiliária, onde a manutenção das Áreas de Preservação Permanente – APPs são deixadas de lado. Topos de morros são desmatados e as margens da represa não são respeitadas. Na contramão do que seria indicado para essa bacia surgem condomínios e residências luxuosas em busca da raridade do bem estar dos poucos espaços naturais, além de outros empreendimentos que contribuem para a deterioração dessas águas.

As formas de uso conflitantes com a função principal da Represa de São Pedro, podem desencadear um aporte excessivo de nutrientes nos corpos d’água, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes de esgotos domésticos e industriais, do manejo inadequado do solo e dentre outras fontes, degradando a qualidade de suas águas e dificultando seu tratamento pelos métodos convencionais.

A ocupação irregular e as atividades desenvolvidas na bacia dos mananciais do município podem comprometer drasticamente a qualidade da água, elevando o custo de tratamento e demandando pontos de captação cada vez mais distantes dos centros consumidores.

Assim, a avaliação de parâmetros de qualidade da água oferece importantes indicativos sobre os principais fenômenos condicionantes de alterações relativas à sua qualidade e disponibilidade, sendo subsídio ao tratamento necessário para abastecimento humano e sua manutenção.

As fontes atuais de abastecimento de água em Juiz de Fora são as Represas de São Pedro, Dr. João Penido e o ribeirão Espírito Santos (coleta a fio d’água). Segundo a Companhia de Saneamento Municipal - CESAMA (2011) estas fontes contribuem com 8%, 50% e 40%, respectivamente, do abastecimento da cidade. A represa de Chapéu d’Uvas em breve irá compor o conjunto de mananciais da cidade aliviando a pressão sobre os atuais. Quanto à Represa de São Pedro, essa já contribuiu com 12% e poderia contribuir mais se houvesse um plano de controle da ocupação, dragagem do manancial e outras práticas priorizando o aumento dos volumes acumulados na Represa (MACHADO, 1998).

A proposta dessas páginas poderá subsidiar a discussão em torno dos tipos de uso da terra em bacias de mananciais (áreas de interesse público), de forma a elucidar prováveis

conflitos que interferem na qualidade e na destinação da água, configurando-se numa fonte de informação emanada das relações entre o uso e cobertura da terra da mencionada bacia com o índice de qualidade das águas IQA e análises estatísticas multivariadas, bem como no enquadramento das águas pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357/2005.

2 - OBJETIVO

Identificar as relações existentes entre o uso e cobertura da terra e a qualidade da água da Bacia de contribuição da Represa de São Pedro, monitorada através do levantamento de dados limnológicos, IQAs e análises estatísticas.

2.1 - Objetivos específicos

- Elaborar uma base de dados cartográficos para identificar por meio do Geoprocessamento os tipos de uso e cobertura da terra da área da bacia e sua conformidade com a legislação ambiental;
- Monitorar valores mensais de pH, sólidos totais - ST, condutividade elétrica - CE, turbidez - Tur, oxigênio dissolvido - OD, oxigênio consumido - OC, demanda química de oxigênio - DQO, demanda bioquímica de oxigênio – DBO_{5,20}, amônio – NH₄, nitrito – NO₂, nitrato – NO₃, nitrogênio total - NT, ortofosfato – PO₄, fósforo total - PT e coliformes termotolerantes - CT;
- Classificar os corpos d'água de acordo com os diferentes níveis de qualidade da água (IQAs);
- Comparar os corpos d'água de acordo com o estabelecido para cada classe de enquadramento pela Resolução CONAMA 357/2005;
- Selecionar os parâmetros mais relevantes dessa bacia por meio de técnicas estatísticas como a análise multivariada (análise fatorial e análise de componentes principais) comparativamente na nascente, exutório dos córregos e captação.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 - Água

A água é fonte de vida. Dela dependem todos os organismos vivos, pois constitui parte de suas estruturas físicas e serve de habitat para uma infinidade de seres. Por tal motivo, deve ser defendida, sempre, como um direito humano fundamental para que seja garantida com padrões de qualidade e que sua disponibilidade seja assegurada para matar a sede e para manter o equilíbrio dos ecossistemas. É fonte de energia potencial e termal implícita em seu ciclo, é um recurso fundamental à sociedade contemporânea pela diversidade de usos possíveis, e, por assim dizer, a água passou a ser legalmente reconhecida pela Lei Federal nº 9.433/1997, como bem natural dotado de valor econômico, reconhecida como recurso hídrico (BRASIL, 1997).

Vários são os destinos atribuídos a ela e embora essa abordagem esteja relacionada ao consumo, faz-se indispensável relembrar as inúmeras utilidades que se somam nos dias contemporâneos. É possível verificar a presença de água ou mesmo resgatar sua essencialidade todo o tempo, seja na exuberância paisagística que a todos contempla; seja na dinamização da natureza que seu ciclo, com todas as suas peculiaridades, transforma; seja na energia a ser utilizada, nos produtos ou alimentos a serem consumidos, nos hábitos, lazeres, nas mínimas atividades do dia a dia e em seu mais nobre uso: a dessedentação. Em quase todos os tipos de uso são atribuídos valores monetários e, embora seja um bem essencial, encontrá-la na prateleira dos supermercados embalada e pronta para ser comercializada sendo encarada como mais uma mercadoria disponível não é nenhuma novidade. Essa é uma nova ótica, muitas vezes não questionada: o olhar a água como uma mera mercadoria, um commodity necessário ao atendimento das novas demandas do mercado.

Considerada um bem de domínio público como a própria Lei 9.433/1997 assegura, o acesso à água nem sempre abrange todas as parcelas da sociedade. A apropriação da água pelo direito de uso ou pela outorga já demonstrou características de privatização desse bem e, por vezes, as demandas públicas e ambientais são colocadas em segundo plano e os interesses das grandes companhias prevalecem. Verificam-se exemplos de empresas que atuam na lavra de importantes fontes de água mineral (consideradas recursos minerais, a forma de gestão

difere do disposto pela Lei 9.433/1997), tais como as fontes de São Lourenço – MG onde moradores acionaram judicialmente uma empresa suíça pela forte pressão sobre as águas minerais na região (ALMEIDA, 2014; BARLOW & CLARKE, 2003).

Análogo a essa questão, Porto-Gonçalves (2008, p. 202) afirma que “nos marcos do pensamento liberal, hoje hegemônico, a água vem sendo pensada como um bem econômico mercantil a partir do conceito de escassez”. O autor considera que à medida que algo é pensado como escasso, acredita-se, pode ser objeto de compra e venda, pode ser objeto de mercantilização.

Para Barlow & Clarke (2003, p. 106) “(...) a aquisição privada de instituições e empresas públicas tornou-se o instrumento principal ao mercantilismo da água”. Esses autores consideram que a mudança de sistemas públicos para privados introduzem um conjunto diferente de imperativos comerciais no fornecimento de serviços de água. Assim, maximizar o lucro passa a ser a meta principal, afinal os donos e acionistas de corporações privadas são guiados por demandas de lucro e dividendos.

Essa tendência neoliberal é invocada pelo discurso de melhorias e ampliação do acesso e tem por objetivo atrair investimentos, já que o Estado estaria impossibilitado de fazer por falta de recursos. Os altos custos necessários a tais investimentos por vezes se devem aos desequilíbrios e passivos ambientais que se instalam devido ao enfraquecimento de políticas e leis ambientais, ou mesmo sua inexistência, que pode ser justificada como mecanismos atrativos de impulso da economia. Contudo, tais expectativas de privatização ou concessão já demonstraram falhas por não terem sido acompanhadas por melhorias no acesso e na gestão. Vários exemplos de lutas pela resistência em torno da privatização das águas vêm sendo travadas em países onde esses processos foram implementados. Porto-Gonçalves (2008) e Barlow & Clarke (2003) apresentam detalhes sobre essa questão, bem como apontam as tendências de organismos multilaterais como o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, Organização das Nações Unidas – ONU, o Fundo Monetário Internacional – FMI e dentre outras instituições, a apoiarem ações que envolvem a participação da iniciativa privada em relação aos serviços públicos relacionados à água.

Em seu livro intitulado “ouro azul”, Barlow & Clarke (2003) fazem uma brilhante análise sobre o processo de mercantilização da água onde associam ao processo de globalização econômica ao mercantilismo da natureza: “(...) tudo agora está à venda a quem puder pagar mais, inclusive sementes, genes e água” (BARLOW & CLARKE, 2003, p. 106).

Associados às políticas dos organismos multilaterais estão os interesses imperialistas onde pairam as aspirações econômicas que visam ao lucro e ao crescimento econômico acima de qualquer outra coisa. Sob essa ótica, justifica-se a busca incessante do capital e novos mercados a serem explorados. Nas palavras dos autores supra:

(...) em países do Terceiro Mundo, onde as crianças já estão morrendo de sede, o Banco Mundial e o Fundo Monetário Internacional fazem da privatização dos serviços de água uma condição da renegociação de dívida e, em breve, o pobre perceberá que é incapaz de pagar os crescentes custos dos serviços de água e de saneamento básico (BARLOW & CLARKE, 2003, p. 91).

Essa situação não foge à realidade brasileira, empiricamente perceptível e publicamente declarada pela relatora especial das Nações Unidas sobre o direito humano à água e saneamento, Catarina de Albuquerque, em missão oficial no Brasil em 2013. Segundo a relatora:

Por vezes, especialmente nos locais onde operam empresas com capital privado, a obtenção de lucros tem levado à exclusão dos mais pobres. O objetivo de alcançar maiores lucros tem igualmente levado à aplicação de tarifas de água e esgoto excessivas para as classes média-baixa e baixa. Em todos os locais que visitei que estão já ligados à rede de água e esgoto, as queixas que recebi sobre o preço destes serviços foram uma constante, declarando-se muitas pessoas “sufocadas” pelas respetivas contas. (...) Em Brasília e São Paulo conversei com várias pessoas que dedicam 10 ou mesmo 25% do seu orçamento familiar ao pagamento das contas de água e esgoto – o que é manifestamente excessivo e contrário a todas as orientações provenientes de várias instâncias internacionais. Este preço excessivo do serviço leva a que as pessoas não disponham de água suficiente para beber, cozinhar e para a sua higiene pessoal e doméstica (ALBUQUERQUE, 2013).

Essa situação se agrava com uma crise no sistema de abastecimento de água que atinge a macro metrópole de São Paulo tornando o problema evidente na grande mídia. Caracterizado pela falta de planejamento e de investimentos no setor e agravado pelo longo período de estiagem (LUTTI, 2014), o acesso à água potável começa a atingir vários setores da sociedade.

Segundo Matter *et al.* (2014), na Bacia do Alto Tietê, onde os problemas de água são os mais graves do estado de São Paulo, o respectivo comitê de bacia, que constitui um modelo democrático, descentralizado e participativo, foi paulatinamente esvaziado, reduzindo as possibilidades de controle social das políticas do setor e da indicação das ações e investimentos que garantam o uso prioritário do abastecimento diante dos demais. Os autores consideram ainda que, paradoxalmente, os acionistas da empresa de saneamento que opera na região - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP (Empresa de

economia mista), situados em países distantes, detêm um poder de decisão sobre o destino das águas onde ela opera maior que o dos participantes do comitê e o dos consumidores submetidos ao racionamento por falta de investimentos. Isso ocorre porque os recursos desses investimentos, gerados no pagamento das tarifas (indevidas no caso dos esgotos), são utilizados para pagar dividendos a esses acionistas (MATTER *et al.*, 2014).

Não olvidemos que esse processo é amparado juridicamente e, nestes termos a Lei Federal nº 11.445/2007 relacionada ao estabelecimento de diretrizes nacionais para o saneamento básico prevê que:

Art. 16. A prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico poderá ser realizada por:

I - órgão, autarquia, fundação de direito público, consórcio público, empresa pública ou sociedade de economia mista estadual, do Distrito Federal, ou municipal, na forma da legislação;

II - empresa a que se tenham concedido os serviços (BRASIL, 2007).

A crise em relação ao abastecimento de água em São Paulo caracteriza apenas um exemplo, visto que muitas das empresas de saneamento que eram públicas já possuem capital privado. Desse modo, parte dos dividendos gerados já não é mais reinvestido na área ou em outras áreas do serviço público.

Conjuntura semelhante acontece em boa parte das cidades do sudeste brasileiro, onde a falta de chuvas nos últimos meses colocou em cheque a garantia do acesso à água potável. Situações que caracterizam calamidade têm sido noticiadas nos jornais. As manchetes consideram o fato como uma “crise hídrica”, mas, no entanto, têm maiores semelhanças com uma crise de gestão. Houve grande aumento nas tarifas de água e principalmente energia elétrica (BORBA, 2015), já que muitos dos principais reservatórios hidrelétricos dessa região apresentam níveis muito abaixo das médias e outras matrizes energéticas tiveram de ser acionadas.

A cidade de Juiz de Fora também tem enfrentado problemas relacionados à falta d'água, havendo rodízio na distribuição que iniciou em meados de outubro de 2014 (TRIBUNA DE MINAS, 2014) e permanece até o presente momento (março de 2015).

Com a falta de chuvas, o nível da represa de São Pedro chegou ao patamar de 1% de sua capacidade em meados de setembro de 2014, segundo dados da Companhia Municipal de Saneamento - CESAMA e divulgados pela mídia local (VALENTE & CAETANO, 2014).

O baixo nível de água da Represa de São Pedro – figura 1 permite observar quão assoreada ela está. Através da imagem é possível verificar a perda de sua capacidade de armazenamento devido ao assoreamento.

Os problemas relacionados à falta d'água, por ocasião do baixo volume de chuvas, foram fortemente agravados pelo tipo de gestão dos recursos hídricos, a exemplo da inexistência ou insuficiência de estações de tratamento de esgotos - ETEs em várias cidades onde é difícil a captação de águas para tratamento e distribuição à montante das áreas que não desfrutam de coleta e tratamento de esgoto. Por esse motivo, o despejo de efluentes diretamente nos corpos hídricos compromete a qualidade das águas inviabilizando-as para consumo. Outra questão se refere à preservação da vegetação em áreas de recargas de nascentes, bem como em áreas de preservação permanente - APPs e outras áreas estratégicas que visam à preservação da qualidade e quantidade de águas. Esses locais exercem funções ecológicas das mais diversas e em se tratando de bacias hidrográficas de mananciais, poderiam assegurar maior volume e qualidade nas águas dos reservatórios, semelhante ao descrito por Tundisi & Tundisi (2010).



Figura 1: Situação da Represa de São Pedro devido aos baixos índices pluviométricos e conflitos de uso da terra na sua Bacia. **Fonte:** Lara Toledo – TRIBUNA DE MINAS 29 de setembro de 2014.

Medidas que visem à preservação dessas áreas não são incentivadas e na contramão desses preceitos, a ocupação desordenada, reflexo da falta de planejamento e de forte pressões especulativas, atinge importantes bacias de mananciais e corroboram para o agravamento das

situações causadas pela estiagem. Percebe-se assim, que não existe uma “crise hídrica”, mas uma crise de gestão, visto que em muitas cidades brasileiras que enfrentam ou enfrentaram problemas de abastecimento são cortadas por importantes rios que, infelizmente, se encontram em estágios de degradação que inviabilizam ou dificultam o tratamento de suas águas para distribuição à população. A cidade de Juiz de Fora é um exemplo, visto as condições de poluição das águas do rio Paraibuna ao adentrar na cidade.

Situações como essas definem o caráter puramente mercantilista sobre o fornecimento de água, ainda mais quando estudos apontam para riscos ambientais nos diversos mananciais da cidade, fato que inclusive foi noticiado pela mídia local (VALENTE, 2015).

Entretanto, não é apenas sob a ótica diretamente comercial do recurso “água” que se dá sua mercantilização. Para compreender esse fato é preciso pensar sobre o conceito de “água virtual” introduzido por Allan (1998) que, segundo Carmo *et. al.* (2007) ganhou repercussão quando o grupo liderado por A. Y. Hoekstra da Universidade de Twente (Enschede), na Holanda, e UNESCO-IHE Institute for Water Education realizou um trabalho de identificação e quantificação dos fluxos de comércio de água virtual entre os países, tornando operacional o conceito.

Nas palavras de Hoekstra (2003), água virtual seria a água que estaria embutida em um produto, não no senso real, mas em um senso virtual, ou seja, a água necessária para a produção de determinado commodity ou produto industrial.

Essa água passa a ser comercializada em sua virtualidade, sendo uma alternativa para os países que enfrentam problemas com a escassez, a exemplo de alguns países do Oriente Médio e norte da África. Também pode estar relacionada a uma política estratégica que busca a preservação dos recursos hídricos de determinados países através da transferência dos passivos ambientais, relacionados aos impactantes processos produtivos que demandam grandes quantidades de água, para países ricos desse recurso.

Commodities consomem grandes quantidades de água e na atual conjuntura do mercado internacional desses produtos, o Brasil ocupa um espaço muito importante, sendo um dos maiores exportadores de soja, carne e açúcar (CARMO *et al.* 2007). Assim, se se pensar o Brasil como o “celeiro do mundo”, pelo volume de “água virtual” contida nos commodities, também seria de associar o Brasil com sendo a “caixa d’água do mundo”. Nas palavras de Carmo *et al.* (2007, p. 93) “considerar a água como produto de exportação indireta brasileira nos remete ao processo de dispersão de riscos ambientais em escala global, pois evidencia quem está pagando a conta da escassez dos recursos hídricos de outras regiões do mundo”.

Assim, às custas da indisponibilidade de água aos próprios brasileiros, são supridas as demandas de regiões distantes sob a ideologia do desenvolvimento e do crescimento econômico.

Nas palavras de Porto-Gonçalves (2012 p. 152) “o ciclo da água não é externo à sociedade, ele a contém com todas as suas contradições”. Essa máxima se justifica no fato de que a água não circula apenas pelos rios, pelo ar, com as massas de ar, ou pelos mares e correntes marinhas, mas também sob a forma social de mercadorias várias: tecidos, automóveis, matérias-primas agrícolas e minerais, enfim, sob a forma de mercadorias tangíveis e, só assim, podemos entender o desequilíbrio hidrológico impulsionado pela lógica de mercado generalizada. Sob essa lógica, nos países ricos em matérias brutas (energia, minerais, solos, sol, água) exportam-se o proveito e deixam-se os rejeitos (PORTO-GONÇALVES, 2012).

Pensar a água como recurso voltado prioritariamente ao abastecimento público implica discutir todas as suas formas de apropriação e ou aproveitamento, haja vista que o consumo humano direto representa, apenas, cerca de 10% da demanda total, o restante sendo distribuído entre agricultura, cerca de 70%, e indústria, com 20%, (PORTO-GONÇALVES, 2008). É necessário, portanto, pensar a água além de seu ciclo biogeoquímico, compreender a bacia hidrográfica como a unidade de pesquisa desse bem, de onde emana parte dos fenômenos físicos, químicos e biológicos análogos.

Será dado enfoque nestas entrelinhas ao uso voltado para o abastecimento público deste bem natural e vital, visto que medir ou quantificar o grau de qualidade da água, antes de tudo, depende exclusivamente do fim que se planeja dar.

3.2 - A bacia hidrográfica como unidade territorial de estudos

A bacia hidrográfica pode ser entendida fisicamente como uma unidade paisagística de drenagem de água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (COELHO NETO, 2007), sendo delimitada em seus extremos pelos divisores de águas. Esses são formados por processos endogenéticos e exogenéticos que interagem entre si para produzir as formas da superfície terrestre, continentais e oceânicas (CHRISTOFOLETTI, 1980), que ao serem compartimentadas e

submetidas aos processos de meteorização e morfogênicos, bem como, delimitadas à área de confluência das águas a um rio principal ou sua foz, constitui a unidade investigativa em questão.

Nessa unidade, parte das águas da chuva infiltrará abastecendo os lençóis subterrâneos e parte escoará para as áreas mais baixas onde corre o rio principal, concentrando ali todo o material – sólido ou dissolvido drenado.

Nessas páginas será utilizado o termo Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro ao invés de bacia hidrográfica, por se tratar de uma seção construída onde as águas que são barradas contribuem para a capacidade de armazenamento. A Bacia hidrográfica do córrego São Pedro só termina em sua foz, no rio Paraibuna.

De especial importância diz-se das áreas de recarga ou áreas cuja infiltração alimenta o lençol e mantém o fluxo de água das nascentes. São áreas de extrema importância e muito sensíveis, por constituírem o cerne do ciclo hidrológico no interior da bacia. Sistemáticamente, o aumento da infiltração de água passa pelas áreas de cobertura vegetal da bacia hidrográfica contribuinte e, portanto, é preciso manter suas condições naturais nas partes mais altas do terreno, para que a água da chuva não escorra na forma de enxurrada, mas infiltre, emergindo nas minas ou nos olhos d'água, nas partes mais baixas (SANTANA, 2003).

Pode-se dizer que as águas que brotam do solo não se originam por si só, mas são resultado de complexas interações que envolvem todo um sistema constituído, naturalmente: pela vegetação, pelo solo, pelas rochas, pelo relevo, etc.; e artificialmente: pelos usos, tipos de cobertura e de ocupação das áreas adjacentes e da bacia como um todo. Tais águas ao, se juntarem, constituirão os leitos fluviais, elementos integradores de uma bacia hidrográfica (ROSS & DELL PRETTE, 1998) e do ciclo hidrológico.

As bacias compreendem dinâmicas sociais, ecológicas, físicas e químicas, onde se observam inter-relações entre o meio biótico e abiótico. Pode ser considerada uma unidade ecossistêmica, cuja energia se transforma e flui por diversas maneiras no meio.

Governada pelas leis naturais como a termodinâmica, o balanço de energia dentro da bacia nem sempre permanece em seu equilíbrio natural, pois as modificações impostas pelo homem, que se vê alheio à natureza, por vezes conturbam esse sistema.

Para Odum (1983), uma unidade ecossistêmica corresponde à área na qual um conjunto de organismos interage com o meio físico de maneira que os fluxos de matéria e energia das partes vivas e não vivas do sistema possam ser claramente definidos. Na prática, a

delimitação entre sistemas não é tarefa das mais fáceis, seus limites são geralmente difusos e a dinâmica matéria/energia, difícil de ser mensurada.

Análogo à bacia, verifica-se toda uma dinâmica cíclica que, além da água, inclui nutrientes (ciclos biogeoquímicos), cadeia alimentar, intemperismo, etc.; e que só se fecha ao considerar o todo. A noção ecossistêmica de fluxo de energia e ciclagem de nutrientes ajuda a compreender toda a funcionalidade natural da bacia. Deste modo, Ribeiro (2012) afirma que embora os componentes biológicos de um lago, de um rio ou de uma floresta pareçam autossuficientes, estes são, na verdade, sistemas muito abertos que formam parte de sistemas maiores de bacias hidrográficas.

Essa concepção evidencia toda uma relação de dependência dos diversos elementos existentes e que compõem uma bacia de forma que alterações em compartimentos desse sistema repercutem no conjunto e de maneira mais explícita na água. Christofolletti (1980 p.65) afirma que “todos os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios”. Essa implicação rebate precisamente na qualidade do recurso do qual se é intensamente dependente e implica na justificativa da utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão territorial.

Tangenciando o conceito de qualidade, pode-se considerar que:

sendo a água de um manancial, o resultado da drenagem, sua qualidade e, portanto, suas características físicas, químicas, biológicas e ecológicas, se encontram sempre na dependência direta das ações (uso e ocupação) que se realizam no solo dessa bacia, bem como do grau de controle que se tem (ou não se tem) sobre essas fontes (CARVALHO *et al.*, 2010, p. 92).

Paralelamente às análises do ponto de vista Geo-ambiental, se associa também a importância estratégica no âmbito da Geopolítica e da Economia, considerando a essencialidade da água à sociedade contemporânea e seu desenvolvimento.

As elevadas demandas exigidas pelos centros urbanos, polos industriais e zonas de irrigação podem superar a oferta de água, seja em termos quantitativos ou em função da deterioração da qualidade desse recurso, e exigir posturas estratégicas para a garantia do suprimento. Grandes corporações já vislumbram oportunidades de mercado em função do controle de fontes de água de qualidade e a figura do Estado representativo dos ditos interesses nacionais entra em cena.

Legislações emanam no intuito de conciliar os diversos usos através da capitalização de um bem, gratuito do ponto de vista ecossistêmico (enquanto água), mas dotado de valor econômico enquanto recurso hídrico (consideração da água como um bem dotado de valor

econômico, passível de utilização para múltiplas finalidades de acordo com a Lei Federal nº 9.433/97). O planejamento e gestão do território “bacia hidrográfica” assume um leque muito maior de importância.

Os interesses podem ser diversos, seja relacionado a quaisquer das esferas que se encontre: municipal, estadual ou federal, esferas estas que para efeito Político-Administrativo, são utilizadas para classificar uma bacia de acordo com a sua abrangência territorial.

As bacias são, então, classificadas como: Bacia hidrográfica federal: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território de mais de um estado; bacia hidrográfica estadual: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território de apenas um estado; bacia hidrográfica municipal: quando a sua rede de drenagem (desde as nascentes que a compõem, até sua foz) está inserida dentro do território de um município (SANTANA, 2003).

O mesmo autor considera de alta relevância o fato das sub-bacias de menor ordem, na maioria das vezes, estarem restritas a um município. Segundo ele, as pessoas residentes ali são, ao mesmo tempo, causadoras e vítimas de partes dos problemas. São elas que convivem com esses problemas e as que mais têm interesse em resolvê-los. Por esse motivo, destaca a sub-bacia como a unidade ideal para o planejamento.

Economicamente é difícil contabilizar os processos naturais que envolvem as transformações e mesmo a renovação dos recursos hídricos e de infinitos outros recursos de importância vital para a sociedade. Todavia, quando perturbada a dinâmica natural sistêmica de uma bacia, as consequências podem ser desastrosas e financeiramente dispendiosas. Em nosso contexto socioeconômico, não se costuma investir na preservação de um ambiente ecologicamente equilibrado, não há preocupações relativas à sustentabilidade no uso de um recurso ou do ambiente e de seus serviços. Ao contrário, as atenções, na maioria das vezes, são direcionadas ao retorno financeiro de curto prazo, ao capital ou a bens que podem ser facilmente contabilizados. Soluções sintomáticas, quando muito, são cobradas e ou postas em práticas, mas estruturalmente pouco é feito.

Em meio a esse cenário, podemos mencionar o processo de ocupação e de uso da bacia de contribuição da Represa de São Pedro, que acontece sem preocupações com a dinâmica natural existente.

3.3 - Breve Histórico do Índice de Qualidade das Águas – IQA

A água líquida não se encontra totalmente pura na natureza, ou seja, um corpo d'água apresenta além da molécula de H₂O várias outras substâncias dissolvidas ou em suspensão associadas. Isso porque a água “(...) possui uma impressionante capacidade de dissolver diversas substâncias, tornando-as acessíveis aos sistemas vivos e proporcionando um meio no qual podem reagir para formar novos compostos” (RICLEFS, 2010 p. 23). Tal substância é, por assim dizer, e rezada no senso comum, considerada o solvente universal. Segundo von Sperling (2007 p. 26), “os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados, de uma maneira ampla e simplificada, em termos de suas características físicas, químicas e biológicas”. Estas, traduzem a qualidade do recurso e podem ser consideradas parâmetros de qualidade da água.

Considerando que a qualidade da água reluz na quantificação e ou mensuração de parâmetros, “para o público em geral, a informação dos valores de concentrações dos poluentes nos corpos d'água tem pouco significado devido às technicalidades envolvidas na interpretação dos resultados” (VON SPERLING, 2007 p.252). Pode-se considerar esse fato como um dos motivos que torna a busca por um método capaz de traduzir resultados de análises ao público como uma constante necessidade. Outra ponderação é feita por Lumb *et al.* (2011) e diz que os governos estão cada vez mais sendo solicitados a explicar o seu desempenho em uma série de desafios de controle de poluição e gestão de recursos naturais.

Os índices de qualidade de águas são considerados por von Sperling (2007) “notas” que retratam condições variando de “muito ruim” a “excelente”. Assim, Lumb *et al.* (2011) afirmam que o índice de qualidade da água (IQA) é um único número que expressa a qualidade da água através da agregação de medidas de parâmetros de qualidade da água como oxigênio dissolvido, pH, nitrato, fosfato, amônia, cloreto, dureza, metais etc. Os mesmos autores se referem ao IQA como um dentre 25 indicadores de performance ambiental – *Environmental Performance Index (EPI)*, capazes de prover também um banco de dados para a avaliação do sucesso de estratégias de gerenciamento, taxando riscos relativos para um uso específico sustentável.

Como visto, a importância para de se estabelecer um índice representativo de qualidade de águas é uma tendência mundial, tanto no âmbito de se quantificar a qualidade para ao provimento de políticas, quanto para a comunicação, seja para com o público, muitas

vezes leigo quanto à compreensão de parâmetros físico-químicos e biológicos, ou entre nações, no que diz respeito ao cumprimento de metas, etc. Neste contexto:

Os índices e indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento, processo que requer um número elevado de informações em graus de complexidade cada vez maiores. Por outro lado, os indicadores tornaram-se fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus efeitos. Esta dupla vertente apresenta-se como um desafio permanente de gerar indicadores e índices que tratem um número cada vez maior de informações, de forma sistemática e acessível, para os tomadores de decisão (CETESB, 2012a. p. 1).

A preocupação com a qualidade da água remete a uma questão de saúde pública. As propriedades da água conferem aos ambientes aquáticos características que os tornam um excelente meio para os processos químicos dos sistemas vivos (RICLEFS, 2010), remetendo à origem da vida e sendo habitat de inúmeros organismos, muitos deles patogênicos, como alguns moneras e protistas.

Essa preocupação fez com que fosse desenvolvido um dos primeiros índices, denominado “*Saprobic Index (SI)*” que Lumb *et al.* (2011) afirmaram ser definido como um índice para especificar a carga de matéria orgânica facilmente degradável em água corrente. Segundo estes, diferentes organismos tem diferentes “taxas sapróbicas” e esse princípio foi a base para a determinação do “*SI*”.

O índice foi utilizado em vários países da Europa durante o século XIX envolvendo o nível de poluição orgânica e determinando a qualidade das águas. O SI era determinado através de estudos empíricos, entretanto, segundo os autores supracitados, foi considerado deficiente e por vezes impraticável porque os estudos empregados em sua determinação não apresentavam um valor numérico para categorizar a qualidade da água e categorizavam os corpos d’água em sérios níveis ou classes de poluição.

Quanto à evolução nas pesquisas sobre qualidade de águas, Lumb *et al.*, (2011) conferem que desde o nascimento do conceito de qualidade de água na forma do “*SI*”, levou mais de um século para que índices numéricos para avaliar a qualidade da água fossem desenvolvidos. Segundo os autores, em 1965, Horton, da *Ohio River Valley Water Sanitation Commission*, apresentou um novo método na forma de um sistema de índice numérico para a classificação da qualidade da água e definindo uma forma matemática de IQA selecionando, classificando e integrando parâmetros físicos, químicos e biológicos de água em uma forma simples, mas cientificamente defensável.

Após Horton ter iniciado em 1965 a formulação de um modelo matemático constituído por vários parâmetros de qualidade de águas, com respectivos pesos pré – estabelecidos, em 1970, com o suporte da *National Sanitation Foundation (NSF) of USA*, Brown *et al.* conseguiram superar uma das dificuldades de Horton, que se referia à escolha dos parâmetros que compõem a fórmula do IQA (LUMB *et al.*, 2011). A solução se deu através de uma pesquisa de opinião junto a especialistas da área. Assim, após uma rigorosa investigação e tratamento dos dados dos questionários aplicados, foram selecionados os seguintes componentes ao índice: coliformes termotolerantes (fecais), pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, variação da temperatura da água, turbidez, sólidos totais, oxigênio dissolvido. Uma variação na fórmula matemática do IQA de Horton também foi feita, passando a assumir a seguinte forma que será utilizada pelo presente trabalho (LUMB *et al.*, 2011):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Nesta equação, q_i é a qualidade (valor que varia de 0 a 100) do parâmetro analisado, obtido na “curva média de variação da qualidade” em função da sua concentração ou medida; w_i é o peso correspondente do parâmetro em questão, em função da sua importância para a conformação global da qualidade (varia de 0 a 1). O somatório de todos os pesos de todos os parâmetros é igual a 1 ou seja 100%) (CETESB, 2012a).

Nesta metodologia, para cada parâmetro foi atribuído um peso, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA, e traçadas curvas médias de avaliação da qualidade das águas em função de sua concentração conforme exemplo na figura 2.

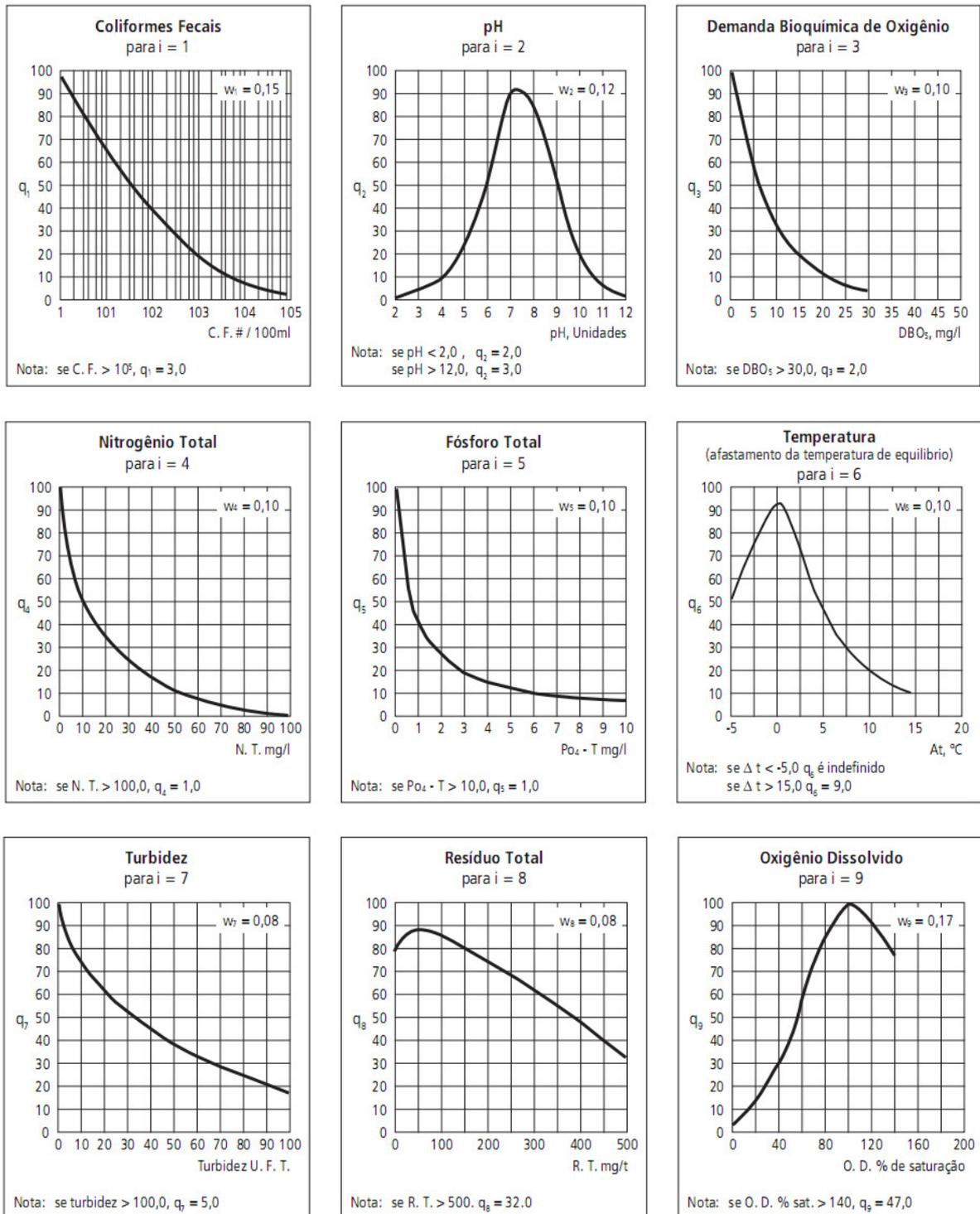


Figura 2: Exemplo de curvas médias de variação da qualidade das águas para cada parâmetro. **Fonte:** CETESB (2012a).

Foram atribuídos os seguintes intervalos de classificação da qualidade da água relacionados com as respectivas cores pela NSF, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Intervalo de valores e respectivas cores para o IQA NSF

IQA NSF	
Classificação	Intervalo de valores
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$

Fonte: VON SPERLING (2007).

Ao longo do tempo várias contribuições foram atribuídas por diversos pesquisadores e instituições e outras metodologias para o estabelecimento de índices que sintetizem a qualidade das águas em um único número foram desenvolvidas e muitas delas são utilizadas em diferentes lugares do mundo. Diferenças nos parâmetros adotados e ou no modelo matemático, objetivando adaptações para melhor atender às múltiplas finalidades a que se aplica um IQA ou adequar-se a diferentes ambientes em estudo, são exemplos de modificações. Lumb *et al.* (2011), conferem que não há nenhum uso padronizado ou convergência única em relação a um determinado modelo de indexação da qualidade da água para uso particular. Entretanto, o IQA anteriormente citado e conhecido como *National Sanitation Foundation – NSF IQA* é um dos mais difundidos mundialmente, ocasionalmente alterando-se um ou outro parâmetro.

A escolha de um índice que represente adequadamente um determinado ambiente, como já foi dito, pode variar. Nas palavras de Abrahao *et al.* (2007) a escolha de um índice depende das fontes de poluição existentes no local e do tipo de uso pretendido para a água, além da possibilidade de realizar análise para os parâmetros necessários. Assim, um índice capaz de se adequar a diferentes condições seria, então, conveniente.

Objetivando maior adequabilidade da aplicação, em 1979, Bascarón desenvolveu um índice altamente flexível denominado “WQI_B”. Este índice permitia a introdução ou exclusão de parâmetros em concordância com as necessidades ou limitações da aquisição de dados. (BASCARÓN, 1979 *apud* ABRAHAO *et al.*, 2007).

Paralelamente, visando maior adequabilidade do IQANSF aos ambientes em estudo no estado de São Paulo, a CETESB propôs alterações nos pesos das variáveis e substituiu o parâmetro nitrato pelo nitrogênio total. Essa alteração se deu em função das etapas do ciclo desse nutriente nos ambientes aquáticos: as grandes concentrações de nitrogênio alóctone e que podem desencadear eutrofização, quando do processo de oxidação do nitrogênio orgânico

a nitrito e posteriormente a nitrato, demanda certo tempo, podendo este não ser encontrado próximo de suas fontes emissoras. Assim, uma amostra poderia apresentar baixas concentrações de nitrato, porém, altas concentrações de outros compostos de nitrogênio quando coletada antes da ocorrência da nitrificação em locais próximos às redes de esgotos, não havendo tempo desses serem oxidados (CETESB, 2012a). Em contrapartida, em ambientes mais distantes dos efluentes, parte do ciclo biogeoquímico (oxidação do amônio a nitrato) já terá sido concluída. Nesses locais as concentrações de nitrogênio na forma de nitratos deverá ser maior. Cabe dizer que a disponibilidade de oxigênio dissolvido interfere nesse processo. Ambientes desprovidos de OD por apresentarem alta DBO carbonácea, e, por conseguinte, anóxicos, interferem nos processo oxidativos tanto do nitrogênio, quanto de outros íons metálicos, a exemplo do ferro (CETESB, 2012a).

Outra característica importante é que a CETESB assume o valor constante de q_i (temperatura) de 94, por considerar que nas condições brasileiras, a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio. Contudo, para um $\Delta T < -5$ °C o valor de “ q_i ” é indefinido e para $\Delta T > 15$ °C, “ q_i ” = 9 (CETESB, 2012a; VON SPERLING, 2007).

Quanto aos intervalos de classificação e respectivas cores a CETESB também propôs alterações de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Intervalo de valores e respectivas cores para o IQA CETESB.

IQA CETESB	
Classificação	Intervalo de valores
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Aceitável	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (2012).

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, entretanto, utiliza os mesmos parâmetros e intervalos de classificação do IQA NSF - Tabela 1, tendo proposto modificações apenas nos pesos “ w_i ” de cada parâmetro, conforme Tabela 3.

Os índices podem, todavia, não representar fidedignamente as condições reais de um determinado corpo d'água. A sensibilidade em relação à discrepância de determinado parâmetro pode ser mascarada quando agregada com os resultados dos demais componentes,

podendo conduzir a resultados que caracterizem erroneamente a qualidade da água em questão ou camuflando condições díspares de parâmetros importantes.

Tabela 3: Variáveis utilizadas e respectivos pesos dos parâmetros que compõem o IQA.

Variáveis	Unidade de medida	NSF - Pesos (wi)	CETESB - Pesos (wi)	IGAM - Pesos (wi)
Coliformes termotolerantes	UFC 100 mL	0,16	0,15	0,15
DBO ₅₋₂₀	mg/L	0,11	0,1	0,1
Fosfato total	mg/L, PO ₄	0,1	Não utilizado	0,1
Fósforo total	mg/L	Não utilizado	0,1	Não Utilizado
Nitrato	mg/L, NO ₃	0,1	Não utilizado	0,1
Nitrogênio amoniacal	mg/L, NH ₃ -N	Não utilizado	Não Utilizado	Não utilizado
Nitrogênio total	mg/L, N	Não utilizado	0,1	Não utilizado
Oxigênio dissolvido	% Saturação	0,17	0,17	0,17
pH	-	0,11	0,12	0,12
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	0,07	Não utilizado	Não utilizado
Sólidos totais	mg/L	Não utilizado	0,08	0,08
Temperatura	°C	0,1	0,1	0,1
Turbidez	UNT	0,08	0,08	0,08

Fonte: CETESB (2012a); IGAM (2014).

A perda de informação das variáveis individuais e da sua interação pode, então, ser considerada como a principal desvantagem. Isso implica no fato de que o índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2012a).

É importante também salientar que os parâmetros que compõem o IQA são voltados para a análise do comprometimento das águas principalmente por esgoto doméstico. Esse fato pode, por vezes, conferir insuficiência ao mesmo, haja vista que a crescente urbanização e industrialização, sem um controle adequado do lançamento de efluentes, pode implicar na maior complexidade dos poluentes.

Nestes termos, o desenvolvimento e evolução dos IQAs muitas vezes tomam a forma de sub-índices que visam identificar ou quantificar fenômenos (a exemplo da eutrofização) ou usos específicos (industrial, agrícola, consumo, etc.), bem como suprir as lacunas concernentes à análise de variáveis: metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (CETESB, 2012a).

Pode-se apreciar como exemplo o Índice de Estado Trófico – IET, que busca suplementar a avaliação da qualidade da água vislumbrando seu grau de trofia através dos parâmetros fósforo total e clorofila a, (esta última ausente no IQA), e sendo, respectivamente,

elemento causador do processo de eutrofização e elemento correspondente à resposta do meio ao agente causador. Acrescentam-se: IAP – Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público e o IVA – Índice de Preservação da Vida Aquática, Índice de Balneabilidade (IB), etc. (CETESB, 2012a).

Abordagens estatísticas, a exemplo da multivariada, também têm sido amplamente utilizadas na tentativa de se estabelecer Índices de Qualidade de Água que se adequem às particularidades de cada bacia, assim como feito por Toledo & Nicoletta (2002).

No entanto, a Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais foram utilizadas com o objetivo de verificar quais parâmetros, dentre os analisados, mais contribuem para a variância total dos dados e carecem de monitoramento contínuo, bem como quais os fatores latentes a determinados grupos de variáveis que compuseram as componentes principais para cada ponto amostral e assim verificar os fenômenos ocorrentes que influem fortemente na qualidade da água como feito por Andrade *et al.* (2007); Rocha *et al.* (2014) e outros.

Assim, no intuito de convergir em direção às justificativas que desencadearam a indexação da qualidade de águas, e paralelamente através da análise individual e conjunta de variáveis, serão trabalhados os dados.

3.4 - Parâmetros de qualidade de águas

3.4.1 - Sólidos presentes na água

Com exceção dos gases que também se dissolvem na água, todas as demais substâncias existentes nesse meio são consideradas sólidos, sejam eles suspensos, dissolvidos ou coloidais. Esses podem ser classificados fisicamente pela granulometria ou quanto às características químicas: orgânicos ou inorgânicos (VON SPERLING, 2005). Esse autor também afirma que em relação às características químicas dos sólidos, esses ao serem submetidos a uma temperatura elevada (550 °C), a fração orgânica é volatilizada, permanecendo após combustão apenas a fração inorgânica. Dessa forma, os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral.

De acordo com a CETESB (2012), de modo geral, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis) e os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão).

Em relação à classificação por tamanho, diz-se das partículas menores capazes de passar por um filtro, que essas correspondem aos sólidos dissolvidos, ao passo que as que ficam retidas são classificadas como suspensos. Quanto aos sólidos coloidais, grande parte é considerada como sólidos dissolvidos e o restante é considerado como suspenso, uma vez que são de difícil determinação pelos métodos simplificados de filtração (VON SPERLING, 2005)

O estudo de sólidos presentes na água pode ser uma ferramenta importante na caracterização e controle da poluição de corpos d'água. As determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (CETESB, 2012). Essa informação é capaz de oferecer um panorama geral das características de águas residuárias – maior ou menor concentração de matéria orgânica, apontando para um tratamento que se adéque melhor ao sistema de tratamento de esgotos. No controle de qualidade das águas, principalmente em vistas de abastecimento público, os sólidos em suspensão são alvo de atenção na eficiência dos processos de separação por decantadores, flotores e filtros (CETESB, 2012).

Outra ponderação, no âmbito dos ambientes aquáticos:

(...) os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas. (CETESB, 2012. p.02)

Cabe dizer que a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que o valor máximo disposto para sólidos dissolvidos totais é de até 500 mg/L para águas enquadradas nas classes 1, 2, 3 e 4.

3.4.2 - Temperatura

A temperatura diz respeito à medição da quantidade de calor em um determinado ambiente ou corpo. Em ambientes aquáticos esse parâmetro pode variar em função da latitude, altitude, profundidade (estratificação vertical), sazonalidade, da hora do dia e etc. Variações nas temperaturas também podem ter origem antropogênica, visto que a água é muito utilizada na indústria para fins de resfriamento de caldeiras devido ao seu alto calor específico. Outra forma é através do lançamento de efluentes industriais com temperaturas elevadas que pode interferir no intervalo tolerado por determinados organismos (VON SPERLING, 2005).

A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físicas, químicas e biológicas. “Elevações da temperatura diminuem a solubilidade dos gases” (VON SPERLING, 2005, p.29). Um exemplo se refere às taxas de oxigênio dissolvido que diminuem em função do aumento da temperatura. Com o aumento da temperatura aumentam as taxas de transferência dos gases, podendo gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis como H₂S. Assim, a análise desse parâmetro deve ser avaliada em conjunto com alguns outros e deve ser considerada em função das características climáticas naturais da região em questão.

3.4.3 - Turbidez

A turbidez se refere ao grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água. Essa redução dá-se por absorção ou espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca devido à presença de sólidos em suspensão (CETESB, 2012). Estes podem ser originários de fontes naturais ou antropogênicas. As naturais podem ser: partículas de rochas, argila, silte, algas e outros micro-organismos. Como fontes antropogênicas podemos citar: despejos domésticos, despejos industriais, micro-organismos, erosão, lixiviação por remoção de vegetação, mau uso do solo, etc. (CETESB, 2012).

O aumento da turbidez das águas pode gerar problemas e levar ao uso de manobras operacionais em estações de tratamentos. A diminuição da passagem de luz através da água provoca uma redução dos processos fotossintéticos e conseqüente diminuição dos organismos

produtores, podendo trazer efeitos em cadeia e causar desequilíbrios que irão refletir nos demais níveis tróficos. As partículas em suspensão também podem servir de abrigo para micro-organismos patogênicos além de ser esteticamente desagradável na água potável. Sendo a origem antropogênica, também pode estar relacionada a compostos tóxicos e organismos patogênicos (BRAGA *et al.*, 2005; VON SPERLING, 2005).

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece o valor máximo para águas enquadradas na classe 1 de até 40 unidades nefelométricas de turbidez – UNT; e para classe 2, 3 e 4: até 100 UNT, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Valores de referência para cada parâmetro de acordo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Parâmetros	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
Coliformes*	200/100 mL	1000/100 mL	4000/100 mL	
Turbidez	até 40 UNT	até 100 UNT	até 100 UNT	
OD	não inferior a 6 mg/L	não inferior a 5 mg/L	não inferior a 4 mg/L	não inferior a 2 mg/L
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
DBO _{5,20}	até 3 mg/L O ₂	até 5 mg/L O ₂	até 10 mg/L O ₂	
Fósforo total (ambiente lântico)	0,020 mg/L	0,030 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,025 mg/L	0,050 mg/L	0,075 mg/L	0,075 mg/L
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,15 mg/L	0,15 mg/L
Nitrato - NO ₃ ⁻ (mg/L)	10 mg/L	10 mg/L	10 mg/L	
Nitrito - NO ₂ ⁻ (mg/L)	1 mg/L	1 mg/L	1 mg/L	
Amônio - NH ₄ ⁺ (mg/L)	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 - 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 - 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 - 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 - 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 - 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 - 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	13,3mg/L N, para pH ≤ 7,5 - 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 - 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 - 1,0 mg/L N, para pH > 8,5	13,3mg/L N, para pH ≤ 7,5 - 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 - 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 - 1,0 mg/L N, para pH > 8,5

* 80% ou mais de pelo menos 60 amostras coletadas durante o período de um ano com frequência bimestral.

Fonte: BRASIL (2005).

3.4.4 - Condutividade elétrica

A condutividade se refere à capacidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica. Essa capacidade depende da presença de íons, de sua concentração total, mobilidade e valência, além da temperatura de medição. Soluções com maiores quantidade de compostos inorgânicos são relativamente boas condutoras. Reciprocamente, moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em soluções aquosas conduzem deficientemente a corrente elétrica (APHA, 2012). Sua unidade de medida é $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Segundo a CETESB (2012) a condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados.

3.4.5 - Potencial hidrogeniônico - pH

Os íons de hidrogênio H^+ correspondem a uma das substâncias que podem ser encontradas dissolvidas na água e são extremamente reativos. A concentração desses íons dá uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade e alcalinidade da água através do pH que é o negativo do logaritmo comum da concentração de íons de hidrogênio, medida por moles por litro (RICLEFS, 2010). Segundo esse autor o pH da água pura, definido como neutro é 7, o que significa que a concentração de íons de hidrogênio será de 0,00000001 moles por litro.

O íon H^+ interfere, portanto, na reatividade com uma série de elementos, contribuindo para dissolução de minerais ou na precipitação de determinadas substâncias, muitas delas podendo ser tóxicas a exemplo de metais pesados (CETESB, 2012). Segundo von Sperling (2005), alterações no pH podem ter origens naturais e antropogênicas. Naturais, diz-se da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera (possível relação com atividades antrópicas), oxidação da matéria orgânica (formação de ácidos húmicos), fotossíntese e etc.. Quanto às fontes antropogênicas: o despejo de esgotos domésticos (oxidação da matéria

orgânica), despejos industriais, poluição atmosférica e conseqüente chuva ácida, dentre outros exemplos.

Nas estações de tratamento de águas, são várias as etapas cujo controle envolve as determinações de pH. A coagulação, a floculação, desinfecção, controle de corrosividade e remoção da dureza são etapas que envolvem esse parâmetro e que possuem uma faixa ótima de pH. (CETESB, 2012; VON SPERLING, 2005).

Baixos valores de pH (alta concentração do íon H⁺) intensificam as propriedades solúveis naturais da água (RICLEFS, 2010) interferindo, inclusive, na corrosividade de tubulações. Altos valores, entretanto, contribuem para incrustações nas tubulações.

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece um intervalo que varia entre 6 e 9 para todas as classes de enquadramento das águas, conforme Tabela 4.

3.4.6 - Série Nitrogênio

O nitrogênio pode ser encontrado na natureza em várias formas, a citar: as formas mais oxidadas – NO₂ (nitrito) e NO₃ (nitrato) e as formas mais reduzidas – nitrogênio orgânico, NH₃ (amônia) e NH₄ (amônio). Essas várias formas existentes são resultado de um ciclo que envolve uma série de processos químicos pelos quais esse elemento se altera através da fixação, assimilação, amonificação, nitrificação e redução do nitrito para N₂ pela desnitrificação (RICLEFS, 2010). O ciclo do nitrogênio envolve organismos que utilizam esse elemento de diferentes maneiras em seus processos vitais, sendo, juntamente com o carbono, hidrogênio e o fósforo considerado um dos principais constituintes do protoplasma celular dos organismos e por isso exigido em grandes quantidades (CETESB, 2012; WETZEL, 2001).

A fonte em última instância desse elemento para a vida é o nitrogênio molecular - N₂ na atmosfera, que constitui o maior repositório da Terra. Esse processo se dá, principalmente, através da fixação que é a redução do nitrogênio em formas biologicamente úteis por bactérias especializadas (RICLEFS, 2010).

As atividades humanas interferem grandemente no seu ciclo natural, por vezes provendo grandes quantidades em corpos d'água através de despejos de esgotos domésticos e industriais e lixiviação de áreas agrícolas. Grandes concentrações desse elemento em corpos

d'água podem provocar eutrofização, propiciando um crescimento excessivo de determinados organismos e consequentes desequilíbrios (VON SPERLING, 2005). A ocorrência de tal problema pode trazer uma série de consequências que refletem nas diversas demandas.

Com o aporte excessivo de nutrientes, a proliferação de organismos produtores faz com que haja uma elevação na concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros micro-organismos mortos, consumindo altas taxas de oxigênio dissolvido, provocando eventuais condições de anaerobiose, principalmente durante a noite, com a ausência de fotossíntese. Isso reflete em uma série de implicações, havendo mortalidade de organismos aeróbios como os peixes. Outras consequências somam-se às condições de eutrofização a exemplo das dificuldades e elevação dos custos de tratamento de água devido à toxicidade de muitas algas, remoção da própria alga, remoção da cor, remoção de sabor e odor e etc. (VON SPERLING, 2005).

O nitrogênio, no que diz respeito a etapas que envolvem o próprio ciclo biogeoquímico correlaciona-se com a ocorrência de possíveis impactos, a citar a oxidação das formas mais reduzidas desse elemento que consome parte do oxigênio dissolvido (DBO de segundo estágio), quando na forma de amônio livre é tóxico aos peixes, bem como na forma de nitrato, em determinadas concentrações pode causar doenças como a metahemoglobinemia (CETESB, 2012; VON SPERLING, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece um valor máximo de 1 mg/L para o nitrito e 10mg/L para o nitrato independente da classe de enquadramento, bem como 3,7 mg/L de nitrogênio amoniacal total para $\text{pH} \leq 7,5$ em águas de classe 1 e 13,3 mg/L para $\text{pH} \leq 7,5$ em águas de classe 3, conforme Tabela 4.

3.4.7 - Fósforo

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um elemento extremamente utilizado pelos seres vivos por ser um grande constituinte dos ácidos nucleicos, das membranas celulares, dos sistemas de transferência de energia e etc. Sua origem natural se deve à dissolução dos compostos do solo, bem como da decomposição da matéria orgânica ou de excrementos via eliminação de excessos no organismo. Por ser um nutriente essencial e por sua origem estar ligada ao intemperismo químico, pode se tornar um fator limitante ao crescimento e

proliferação de organismos produtores, a exemplo das plantas, justificando sua utilização na agricultura como fertilizante (RICLEFS, 2010).

Grandes concentrações de fósforo em corpos d'água podem ter a origem ligada às atividades humanas por meio de despejos de esgotos domésticos, que além de excrementos apresentam concentrações de detergentes fosfatados via despejos industriais e drenagem de áreas agrícolas e urbanas. O aporte excessivo desse nutriente pode causar eutrofização e consequentes problemas relacionados a esse fato.

Com relação ao ciclo que este assume,

em sistemas aquáticos bem oxigenados, o fósforo forma logo compostos insolúveis com o ferro ou o cálcio e precipita para fora da coluna d'água. Assim, sedimentos marinhos e de água doce agem como um sumidouro de fósforo, removendo continuamente o fósforo precipitado de seu ciclo rápido nos ecossistemas (RICLEFS, 2010. p. 441).

Esse autor afirma ainda que em águas deplecionadas de oxigênio ou em águas de fundo, os compostos de fósforo logo se dissolvem e entram na coluna de água, uma vez que o ferro tende a se combinar com o enxofre ao invés de com o fósforo, formando sulfetos solúveis no lugar de compostos de fosfatos insolúveis.

A determinação desse parâmetro é importante não apenas na caracterização de águas voltadas para o abastecimento, mas é também muito importante para os processos de tratamento de efluentes. Manter as razões necessárias entre nutrientes é fundamental para se controlar o processo de decomposição da matéria orgânica pelos micro-organismos.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece valores máximos de fósforo para enquadramento das águas em diferentes tipos de ambientes (lênticos, lóticos ou intermediários) conforme a Tabela 4.

3.4.8 - Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é essencial para o metabolismo de todos os organismos aeróbios (WETZEL, 2001) e por esse motivo torna-se uma importante ferramenta para a compreensão dos processos ecológicos que ocorrem nos ambientes aquáticos. O oxigênio se relaciona a

uma série de processos que envolvem a oxidação da matéria orgânica, seja ela química ou bioquímica; a fotossíntese, oxidação de elementos e etc.

Visto que a disponibilização de determinados nutrientes, por vezes, torna-se fator limitante à proliferação de organismos aquáticos, em vistas de ambientes eutrofizados, o oxigênio dissolvido pode se tornar um problema. A elevada concentração de matéria orgânica biodegradável aumenta a capacidade de suporte do ambiente local aos organismos decompositores, acarretando em seu aumento populacional. Por utilizar o OD em seus processos respiratórios e por possuírem requisitos de sobrevivência em termos de oxigênio bastante baixos, o crescimento excessivo desses organismos pode deplecionar o ambiente desse elemento, acarretando possíveis condições de anaerobiose (BRAGA *et al.*, 2005). Nestas condições morrem os organismos mais exigentes e a população de decompositores continua a crescer.

Concernente à eutrofização e aumento da concentração de algas, fonte de reintrodução de oxigênio pela fotossíntese, estas podem ser responsáveis pelas elevações da concentração de OD para além dos níveis de saturação. Esse aumento pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água se considerado apenas esse parâmetro para avaliação, uma vez que durante o dia as concentrações de OD podem atingir níveis muito altos, caracterizando uma situação de supersaturação (CETESB, 2012). Outra informação importante se volta ao fato de que a fotossíntese pode não ser “significativa nos trechos de rios a jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver” (CETESB, 2012. p. 17).

Quanto à dinâmica desse elemento, Wetzel (2001) confere que as taxas de fornecimento de oxigênio dissolvido da atmosfera e pela fotossíntese, além da distribuição hidromecânica de oxigênio, são contrabalançados pelo metabolismo de consumo pela biota e por reações químicas. Segundo o autor, o resultado da distribuição do oxigênio afeta fortemente a solubilidade de muitos nutrientes inorgânicos.

Em relação à concentração de oxigênio dissolvido na água provindo da atmosfera, esta se dá em função da pressão e da temperatura e são regidas pela Lei de Henry que define as concentrações de saturação de um gás na água em função da temperatura (CETESB, 2012).

Convém dizer que:

Quando a água é exposta a um gás, ocorre um contínuo intercâmbio de moléculas da fase líquida para a gasosa e vice-versa. Tão logo a concentração de solubilidade na

fase líquida seja atingida, ambos os fluxos passam a ser de igual magnitude, de modo a não ocorrer uma mudança global das concentrações do gás em ambas as fases. Este equilíbrio dinâmico define a concentração de saturação (C_s) do gás na fase líquida (VON SPERLING, 2005. p. 157).

A ocorrência de quedas d'água ajuda nesse processo, por promover e renovar as interfaces água – ar, evitando pontos de saturação localizada.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece valores mínimos de OD para as águas enquadradas nas diversas classes, sendo não inferior a 6 mg/L para a classe 1. Para a classe 2, não inferior a 5 mg/L; para a classe 3, não inferior a 4 mg/L e para a classe 4, não inferior a 2mg/L, conforme Tabela 4.

3.4.9 - Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_{5,20}

Os micro-organismos aeróbios, durante o processo de decomposição da matéria orgânica existente em um corpo hídrico, utilizam o oxigênio dissolvido para oxidar os carboidratos e produzir energia para seus processos vitais. Quando da inexistência de recursos limitantes, a multiplicação desses seres, pode se tornar um problema, visto que a depleção do oxigênio do meio pode causar a morte de espécies mais exigentes em relação à quantidade desse elemento. Assim, a DBO é uma medida indireta da matéria orgânica presente em corpos d'água, pois retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea (VON SPERLING, 2005) e é medida em mg/L.

Todo o processo de estabilização, contudo, demora alguns dias não sendo igual para todo tipo de amostra. Foi determinado, então que a DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de 20 °C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20} ou DBO Padrão (CETESB, 2012; VON SPERLING, 2005).

A utilização desse parâmetro serve de ferramenta tanto para o tratamento de águas para o consumo, quanto para o tratamento de esgotos. Esse último, na maioria das vezes, segue através do controle e estímulo da proliferação de micro-organismos que irão decompor e estabilizar a matéria orgânica existente, aliviando o processo natural de autodepuração do

corpo d'água que pode ser lento e com consequências ecológicas (CETESB, 2012; VON SPERLING, 2005).

A duração do processo de estabilização da matéria orgânica, entretanto, não se limita aos 5 dias estabelecidos para a realização do experimento, mas se estende por mais tempo em função das características dos resíduos, até que o consumo de OD decaia para níveis muito baixos ou insignificantes (Demanda Última de Oxigênio). Nesta etapa o decaimento de oxigênio também se dá em função da nitrificação, sendo importante inibir esse processo para uma análise concisa da chamada Demanda Última de Oxigênio – DBO_u (VON SPERLING, 2005).

No âmbito legislativo, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece até 3mg/L de DBO_{5,20} para águas enquadradas na classe 1, até 5 mg/L para a classe 2 e até 10mg/L para a classe 3, conforme a Tabela 4.

3.4.10 - Demanda Química de Oxigênio – DQO

De acordo com a CETESB (2012), esse parâmetro se refere à quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO_{5,20}, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. Assim, ambos os componentes orgânicos e inorgânicos de uma amostra estão sujeitos à oxidação, mas na maioria dos casos, os componentes orgânicos predominam (APHA, 2012).

A CETESB afirma também que a DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente.

3.4.11 - Oxigênio consumido

Para Valente *et al.* (1997), o oxigênio consumido quimicamente tem o mesmo significado que a DQO, mas o mesmo é mais utilizado quando o oxidante é o permanganato. Assim o oxigênio consumido é um indicador da concentração de matéria orgânica, como a DQO. No entanto, a oxidação é realizada em condições menos energéticas. A oxidação com permanganato é mais utilizada para águas limpas, com baixa concentração de matéria orgânica.

3.4.12 - Coliformes termotolerantes

Uma das grandes preocupações em relação ao tratamento de águas destinadas ao abastecimento público se refere às condições higiênicas da mesma, que deverão garantir a inexistência das chamadas doenças de veiculação hídrica (VON SPERLING, 2007).

A detecção de organismos patogênicos em corpos d'água é relativamente difícil em razão da baixa concentração. Assim, uma alternativa foi o estudo dos organismos indicadores de contaminação fecal, que são predominantemente não patogênicos, mas que dão uma indicação do quanto uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e, por conseguinte, da sua potencialidade de transmitir doenças (VON SPERLING, 2007).

O grupo coliforme pode ser dividido em: Coliformes totais, que além de bactérias presentes no intestino humano apresentam também bactérias de vida livre; Coliformes fecais ou termotolerantes, que são representados predominantemente por organismo presentes no intestino de humanos e de outros animais onde o teste consiste em amostrar os organismos que resistem a temperaturas mais elevadas suprimindo a maioria das bactérias de vida livre; *Escherichia coli* – principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes, abundantes nas fezes de humanos e de animais. A *E coli* é a garantia de contaminação exclusivamente fecal (VON SPERLING, 2007).

Esses organismos são importantes, pois retratam de maneira ampla a possível existência de seres patogênicos (tratando-se de bactérias e vírus) por apresentarem

características semelhantes aos mesmos e são indicativos da eficácia do tratamento conferido a uma determinada água no que concerne a esses grupos de micro-organismos.

Dentre alguns mecanismos capazes de suprimir a contaminação bacteriana, von Sperling (2007) menciona fatores físicos: luz solar (radiação ultravioleta); temperatura; adsorção; floculação; sedimentação; fatores físico-químicos: efeitos osmóticos; pH; toxicidade química; potencial redox; fatores biológicos e bioquímicos: falta de nutrientes; predação; competição.

Estes mecanismos são aplicados para a remoção de bactérias e vírus, representados pelo grupo *coliforme*. Entretanto, outros micro-organismos também podem apresentar patogenicidade, a exemplo de protozoários (presentes na forma de cistos e oocistos) e de helmintos (presentes na forma de ovos), os quais não são representados pelo grupo *coliforme*. A remoção destes se dá, basicamente, por meio da sedimentação (VON SPERLING, 2007). A unidade de medida é a unidade formadora de colônias – UFC/100 mL.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os valores para enquadramento nas diversas classes, conforme a Tabela 4.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Caracterização da área de estudo

A cidade de Juiz de Fora está localizada no sudeste do Estado de Minas Gerais, na mesorregião da Zona da Mata mineira. Esta região, cujo revestimento original era de uma mata densa e contínua, foi submetida a uma devastação generalizada, de modo que atualmente, só alguns pontos isolados apresentam manchas acanhadas de vegetação (MACHADO, 1998, p. 98). Essas pequenas manchas florestais, que caracterizam parte da vegetação local, são denominadas como floresta estacional semidecidual, típica de climas com duas estações bem definidas (VELOSO & GÓES – FILHO, 1982).

De acordo com a classificação de W. Koeppen, Juiz de Fora possui um clima Cwa, ou seja, um clima mesotérmico com verões quentes e estação chuvosa também no verão. Este clima pode também ser definido, genericamente, como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresentar altitudes médias entre 700 e 900 m, que contribuem para a amenização das suas temperaturas (CESAMA, 2015).

Os índices pluviométricos anuais, obtidos pela Estação Climatológica Principal da UFJF/ 5° DISME (NÚMERO 83692), nas últimas décadas, acusaram médias próximas a 1.536 mm e maiores índices mensais no mês de janeiro, com cerca de 298 mm, enquanto que a média térmica anual oscila em torno de 18,9°C. O mês mais quente (fevereiro) possui média próxima a 21,7°C e o mês mais frio (julho), 16,1°C (CESAMA, 2015). As duas estações bem definidas são: uma que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas (JUIZ DE FORA, 2000).

Quanto aos aspectos Geológicos, na área urbana são encontrados dois grandes compartimentos: ao norte, os terrenos ocupados pelo Gnaisse Piedade e ao sul, pelas rochas antigas do Complexo Juiz de Fora (CESAMA, 2015).

Como afirma Machado (1998), a BCRSP se localiza na área do Complexo Juiz de Fora, onde o relevo de elevada topografia, exhibe aspecto serrano e grandes amplitudes topográficas, por vezes superiores a 200 m.

Assim como toda a Zona da Mata mineira, a BCRSP está inserida no domínio dos Mares de Morros. Segundo a CESAMA,

a presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades e um relevo constituído predominantemente por morros e morrotes, sujeitos a chuvas com índices anuais elevados, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa. Contribuem, ainda, a presença de blocos de rochas em escarpas abruptas, solos residuais espessos e formações superficiais profundas, precariamente protegidos por pastagens, capoeiras e pequenos redutos de florestas secundárias. O desequilíbrio das vertentes pode ser visualizado pelos elevados índices de movimentos de massa principalmente em solos, além de processos erosivos tanto laminares como de escoamento concentrado. Os desmatamentos e movimentos de terra são responsáveis pela reativação dos processos morfodinâmicos naturais (CESAMA, 2015).

Machado (1998), afirma que a bacia apresenta altitudes médias compreendidas no intervalo de 850 a 1000 metros, sendo o ponto mais baixo, 849,9 m de altitude, correspondendo ao nível do lago, e o ponto mais elevado, o Pico Grota, com 1077m de altitude, localizado no extremo sudoeste da bacia. Esse autor considera ainda que as áreas com declividade igual ou maior que 30% correspondem a aproximadamente 26% da área total da bacia apresentando-se irregularmente distribuídas com certa concentração nas porções sul, sudeste e sudoeste, destacadamente na área da sub-bacia do córrego Grota do Pinto.

Quanto à bacia hidrográfica do córrego São Pedro, afluente da margem direita do rio Paraibuna, essa tem especial valor para a cidade de Juiz de Fora por abrigar a Represa de São Pedro, também conhecida como Represa dos Ingleses ou Cruzeiro de Santo Antônio. A figura 3 se refere à localização da BCRSP.

Essa bacia constitui um importante manancial que atualmente responde por cerca de 8% do abastecimento público de água à população urbana. A estação de tratamento produz aproximadamente 120 litros de água por segundo, variando de acordo com o nível da represa. (CESAMA, 2015).

Machado (1998) apresenta características sobre o processo de ocupação da área da bacia, que pode ser dividido em duas fases principais cujo limite é estabelecido na década de 1960, época em que a Represa passa a compor o sistema público municipal, mudando seu caráter de simples bacia hidrográfica urbana, para manancial de abastecimento público. De acordo com o autor, até 1960 todas as atividades desenvolvidas na bacia tinham características predominantemente rurais e a ocupação efetiva da área só foi intensificada após implantação de inúmeras medidas de caráter urbano, que venceram o isolamento topográfico local induzindo à ocupação. Dentre as medidas, Machado (1998) faz referência à

implantação da Avenida Independência (hoje denominada Presidente Itamar Franco), que passou a fazer rapidamente a ligação com o centro da cidade; a instalação do Campus da UFJF, no bairro São Pedro; a elaboração pela prefeitura, no final da década de 1970, do “Projeto Cidade Alta” (plano que visava a ocupação efetiva de toda região); localização do aeroporto e do estádio municipal nas imediações e destacadamente a implantação da BR 040, no início da década de 1980.

Atualmente a implantação da BR 440 (Via São Pedro) na margem direita da Represa contribui para a intensificação da urbanização e gera impactos diretos sobre suas águas, devido à supressão da vegetação ciliar. A construção de condomínios luxuosos nos arredores da bacia exemplifica a supervalorização da área onde empreendimentos dos mais diversos fins aparentam se sobressair ao seu uso mais nobre: o abastecimento público.

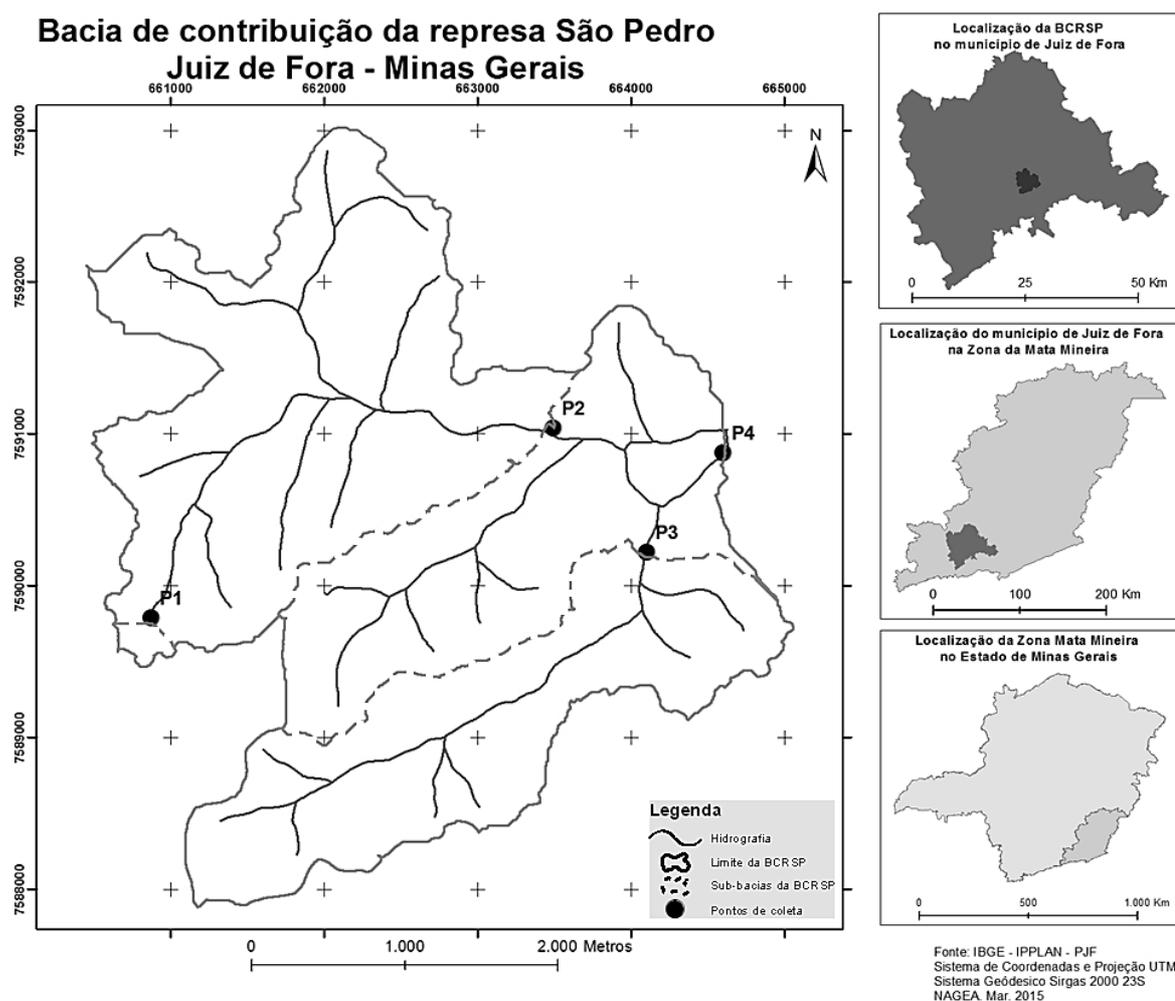


Figura 3: Localização da bacia de contribuição da represa de São Pedro.

As características paisagísticas também impulsionam a especulação sobre a área, já que em ambientes urbanos as belezas naturais podem ser consideradas como raridades. Assim, a forte pressão imobiliária que associada à ausência de políticas públicas reflete em alterações qualitativas e quantitativas de suas águas. Esse motivo contribui para a busca de alternativas de abastecimento que extrapolam os limites municipais e comprometem a autonomia sobre esse recurso (RIBEIRO & PIZZO, 2011).

4.2 - Levantamento de dados

Com base em ortofotos disponibilizadas pela Prefeitura de Juiz de Fora, nas cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, bem como, através de visitas em campo, foram selecionados quatro pontos amostrais na Bacia da Represa de São Pedro. As coordenadas de todos os pontos se referem ao Datum horizontal WGS-84. A escolha por estes locais recaiu no intuito de se utilizar a nascente como ponto com pouca interferência humana, conhecido com “branco” para comparar com a variação dos parâmetros no exutório dos córregos e na captação da represa. Os pontos selecionados foram:

- Nascente do Córrego São Pedro – P1 com Latitude 21° 47' 19,8” S e Longitude 43° 26' 39,2”W – figura 4;

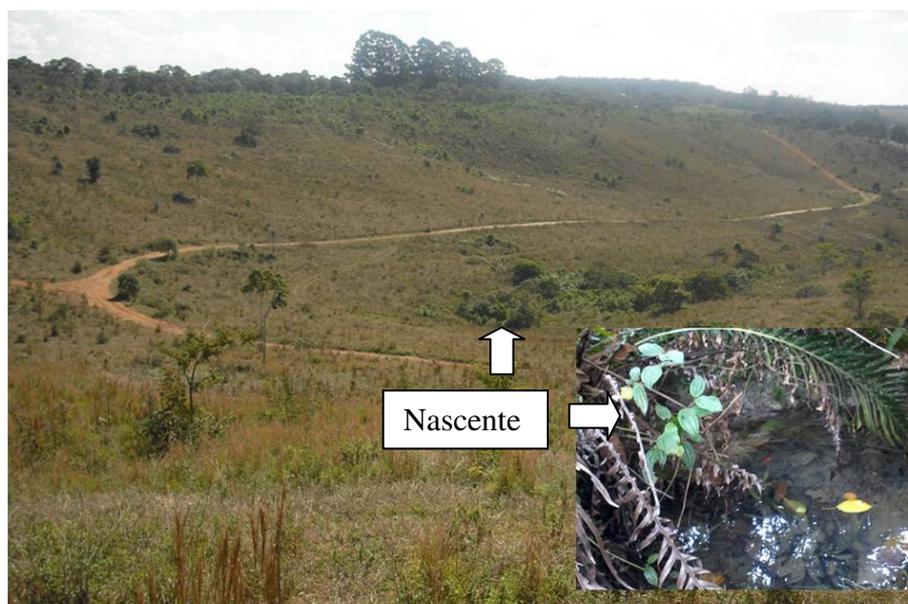


Figura 4: Nascente do córrego São Pedro - P1. **Fonte:** NAGEA - 23/03/2013.

- Exutório do Córrego São Pedro na represa - P2 com coordenadas: 21° 46' 38,3" S e 43° 25' 08,9" W, figura 5;



Figura 5: Exutório do Córrego São Pedro na represa - P2. **Fonte:** NAGEA -20/03/2013.

- Exutório do Córrego Grota do Pinto na represa - P3 com coordenadas: 21° 47' 04,9" S e 43° 24' 47,4" W, figura 6;



Figura 6: Exutório do córrego Grota do Pinto na represa – P3. **Fonte:** NAGEA - 20/03/2013.

- Captação – P4 com coordenadas: 21° 46' 43,9" S e 43° 24' 29,2" W, figura 7.



Figura 7: Captação da Represa de São Pedro – P4. **Fonte:** NAGEA.

Nestes pontos foram realizadas coletas mensais durante 24 meses, abrangendo estações bem definidas: uma chuvosa e outra mais seca conforme o plano diretor de Juiz de Fora (JUIZ DE FORA, 2000). Os dados pluviométricos foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e referentes à estação Juiz de Fora - MG número: Organização Meteorológica Mundial - OMM 83692. Essa estação está localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF distante aproximadamente 5 km da captação da Represa de São Pedro.

As coletas tiveram início no dia 28 de maio de 2012 e finalizaram em 9 de abril de 2014. No dia que antecedia a saída para o campo era feito um trabalho de etiquetagem de recipientes e preparação de caixas de isopor para acondicionamento das amostras com gelo.

Os trabalhos de campo seguiram uma trajetória pré-estabelecida, partindo do campus da UFJF rumo à captação da represa, onde a coleta era realizada sempre por volta das 08h00min (horário de Brasília). Logo após, seguia-se até o ponto exutório do córrego Grota do Pinto onde os procedimentos de coleta aconteciam por volta das 08h40min. Chegava-se ao ponto exutório do córrego São Pedro aproximadamente às 9h30min e em seguida era realizada a coleta na nascente do córrego São Pedro aproximadamente às 10h30min.

Em cada ponto amostral da bacia de contribuição da Represa de São Pedro coletava-se 5 litros de água para análise dos parâmetros: condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), oxigênio consumido (OC), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Tur), sólidos totais (ST), pH, fósforo total (PT),

ortofosfato (PO_4), nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), amônio (NH_4) e 1 (uma) amostra de 100 ml para análise de coliformes termotolerantes (CT). No anexo 1 encontram-se os resultados da pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.

As amostras foram acondicionadas em recipientes inertes de vidro ou plástico e devidamente preservadas a 5 °C. Outras ponderações descritas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras – ANA (2011) nortearam os procedimentos de campo. O processamento das análises foi realizado no LADINAA (Laboratório Dinâmico de Análise Ambiental) e LEA (Laboratório de Ecologia Aquática), ambos da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Já as análises de coliformes foram realizadas no laboratório Engequisa, externo à UFJF. Os procedimentos adotados seguiram as orientações de APHA (2012).

4.3 - Cálculo dos Índices de Qualidade das Águas - IQAs

Os dados obtidos foram Tabelados no Microsoft Office Excel 2010 onde foram elaborados os gráficos com o comportamento de cada parâmetro ao longo da pesquisa e traçados os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para cada classe de enquadramento. Embora exista legislação estadual que disponha sobre a classificação dos corpos d'água e dá outras providências - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, optou-se pela utilização da legislação nacional, por facilitar a comunicação com outros estados.

No que concerne ao cálculo do IQA, procedeu-se à exportação dos dados para o MATLAB R 2012a, no qual se inseriu as fórmulas utilizadas pelo IGAM (2014) e pela CETESB, obtendo-se assim os resultados que posteriormente foram classificados segundo os critérios dos respectivos órgãos. Cabe dizer que algumas equações para obtenção da qualidade do parâmetro analisado “ q_i ” podem apresentar valores maiores que 100.

Para o cálculo do Índice de Qualidade de Água – IQA, adotou-se o produtório proposto pelo IGAM (2014) com substituição do parâmetro “fosfato total” para “fósforo total”, constituindo-se no IQA IGAM adaptado e pela CETESB (2012), com fórmula descrita no item 3.3 - Breve histórico do índice de Qualidade das Água - IQA constante na Revisão da literatura.

A adaptação no IQA IGAM levou a resultados subestimados, já que o fósforo total engloba outras frações de fósforo além dos fosfatos totais (CETESB, 2012a). Porém,

verificou-se que o fósforo no IQA não interferiu fortemente em seus resultados, de forma que os valores “ q_i ” obtidos pela curva média de variação da qualidade do parâmetro quase sempre estiveram acima de 95, visto que o melhor valor possível seria 100. Assim, a substituição do parâmetro influi minimamente nos valores brutos de IQA encontrado.

As diferenças de cálculo entre o IQA IGAM adaptado e o IQA CETESB se encontram, além da consideração de parâmetros e pesos distintos, também nas fórmulas que originam as curvas específicas de qualidade, pois os parâmetros utilizados nos cálculos possuem diferentes fórmulas para diferentes intervalos. Além disso, os dois órgãos classificam o IQA de maneira distinta, tanto no que diz respeito aos valores, quanto ao vocabulário utilizado. Verificaram-se também quais parâmetros apresentaram os menores valores de “ q_i ” obtidos pela curva média de variação da qualidade do parâmetro. Para isso foi calculado a média global dos resultados “ q_i ” de cada variável. Optou-se por apresentar tais verificações apenas pelos critérios do IGAM adaptado, visto que os resultados foram muito semelhantes aos encontrados pelos critérios da CETESB.

4.4 - Análise Fatorial / Análise de Componentes Principais – AF/ACP

Segundo Ribas & Vieira (2011), à análise de fator interessa investigar se as covariâncias ou correlações de um conjunto de variáveis observadas podem ser explicadas em termos de um número menor de construtos ou fatores comuns. Mais especificamente, a análise fatorial exploratória investiga se as covariâncias ou correlações entre um conjunto de n variáveis observadas (x_1, x_2, \dots, x_n) podem ser explicadas em termos de número menor, m de fatores comuns (A, B, \dots, M), onde $m < n$.

A Análise Fatorial, em resumo, representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros. Esta técnica permite selecionar as variáveis mais representativas do corpo hídrico, favorecendo a definição de indicadores mais sensíveis, tanto para adoção de um programa de monitoramento, como para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos (Toledo & Nicoletta, 2002).

O principal objetivo da ACP é reduzir a complexidade das inter-relações entre um número potencialmente grande de variáveis observadas a um número relativamente pequeno

de combinações lineares com essas variáveis, que resultam nos componentes principais. Este objetivo será atingido se um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuírem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade dos dados originais. Os componentes principais têm a propriedade adicional de ser independentes entre si, ou seja, de não ser correlacionados (Ribas & Vieira, 2011).

Para estudo da relação entre os parâmetros de qualidade da água foi aplicada a análise fatorial com análise de componentes principais. As variáveis foram organizadas em fatores conforme suas inter-relações, o que definiu uma estrutura inerente às mesmas. Além de permitir um melhor entendimento sobre as relações entre as variáveis, a formação dos fatores permitirá ainda a redução do número dessas (HAIR *et al.*, 2007). Assim, pode-se alcançar economia nos recursos de pesquisa como coleta de dados, análise laboratorial e estudos.

As análises multivariadas (AF/ACP) foram realizadas no software SPSS® 15.0 e consistiram em três etapas descritas por Toledo & Nicoletta (2002): elaboração da matriz de correlação; extração dos fatores comuns com possível redução das variáveis explicativas e rotação dos eixos relativos aos fatores comuns visando facilitar e simplificar a interpretação.

Verificou-se a adequação dos dados à AF/ACP por meio dos testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e esfericidade de Bartlett. Os dados originais, em forma de matriz, foram expressos por $X = (X_{i,j})$ em que $i = 1 \dots n$ amostragens (24) e $j = 1 \dots p$ variáveis limnológicas (15). O coeficiente de correlação superior a 0,5, como sugerido por Cohen (1988) e Helena *et al.* (2000) expressa uma forte correlação entre as variáveis limnológicas e valores entre 0,3 e 0,49, expressam uma correlação moderada (COHEN, 1988). Para extração das componentes principais utilizou-se a matriz de correlação visando eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis foram medidas. A principal característica da ACP, além da ortogonalidade, é que as componentes principais são obtidas em ordem decrescente de máxima variância. Assim, a primeira componente explica o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda, explica o máximo de variabilidade dos dados restantes, não correlacionados com a primeira e assim sucessivamente (ANDRADE *et al.*, 2007; GUEDES *et al.*, 2012). Os resultados da AF/ACP nem sempre são de fácil interpretação. Para suplantar tal limitação adotou-se procedimento de rotação ortogonal da matriz das cargas fatoriais que possibilitou melhor interpretação dos fatores ao redistribuir a variância explicada pelas componentes, não alterando na variância acumulada do conjunto de componentes. A utilização da rotação ortogonal pelo método Varimax, objetiva um ajuste melhor ao modelo fatorial possível de explicação, sendo frequentemente utilizada em estudos de qualidade de

água e processos hidrológicos (APRILE & FARIAS, 2001; ANDRADE *et al.*, 2007; GIRÃO *et al.*, 2007; GUEDES *et al.*, 2012; ROCHA *et al.*, 2014). Maiores detalhes sobre o assunto podem ser encontrados em Hair *et al.* (2007).

Outro procedimento adotado se refere ao coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis monitoradas e a pluviometria de aproximadamente 24 horas antecedentes aos trabalhos de campo. Tais cálculos foram realizados no Microsoft Office Excel 2010.

4.5 - Elaboração da carta de uso e cobertura da terra da Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro

A carta de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica da Represa de São Pedro foi elaborado no software *ESRI ArcGIS 10.1* a partir das imagens *Landsat 8* de 02 de agosto de 2013 com as bandas 4, 3, 2 fusionadas com a banda pancromática 8 para melhoramento da resolução de 30 metros para 15 metros. Foi utilizada a ferramenta de classificação por máxima verossimilhança, visando à obtenção das seguintes classes:

- 1 – Mata: classe referente à fisionomia vegetal de porte arbóreo;
- 2 – Pasto: vegetação de porte rasteiro, onde em muitos trechos por não serem mais utilizadas pelo gado apresentam características arbustivas;
- 3 – Represa: refere-se à área sujeita ao armazenamento de água devido à barragem.
- 4 - Área ocupada: incluem as vias, estradas, áreas onde há revolvimento de terras para provimento de edificações e as edificações em si;
- 5 - Vegetação de alagado: áreas cobertas, principalmente, por *Typha sp.* (taboa);
- 6 - Processo erosivo atuante: áreas onde o pasto se encontra degradado por incêndios ou outras causas, onde há solo exposto sujeito à atuação de processos erosivos.

A base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, referente à carta de Matias Barbosa, folha SF - 23 -X -D - IV- 3 na escala 1:50000 foi utilizada para obtenção da hidrografia da BCRSP. Sua delimitação foi elaborada através da ferramenta Hidrology e a base de dados foi cedida pela Prefeitura de Juiz de Fora - voo aerofotogramétrico de junho de 2007, que gerou uma carta altimétrica com curvas de intervalo de 1 metro na área urbana e de 5 metros na zona rural do município através da tecnologia *Light Detection And Ranging - LIDAR*.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Uso e cobertura da terra na Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro

A elaboração da carta de uso e cobertura da terra da Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro permitiu obter um panorama sobre a situação de preservação ou de não preservação que se tem de cada ponto de monitoramento, bem como da bacia como um todo.

As visitas de campo corroboraram na verificação das classes obtidas via classificação supervisionada da imagem *Landsat 8* – figura 8, confirmando os resultados da carta gerada – figura 9.

Visualizar as condições físicas locais dos respectivos pontos foi de grande importância, pois permitiu avaliar se os resultados das análises estatísticas processadas com os dados limnológicos podem, de fato, estar acontecendo. Tais análises forneceram importantes evidências sobre fenômenos ocorrentes na bacia e que caracterizam a qualidade da água das amostras coletadas ao longo da pesquisa. A visualização das condições locais também foi confrontada com os resultados obtidos por meio dos cálculos dos IQAs e da AF/ACP.

A Tabela 5 apresenta o valor e respectivo percentual de cada classe para os pontos de monitoramento.

Tabela 5: Valores e percentuais de cada classe de uso e cobertura da terra na BCRSP em 2013.

	P2 - São Pedro		P3 - Grota do Pinto		P4 - Represa SP	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Área ocupada	1,38	24,3	0,14	3,9	1,82	14,2
Mata	1,31	23,0	1,29	35,9	3,85	30,1
Processo erosivo atuante	0,89	15,6	0,19	5,3	1,36	10,6
Pasto	2,03	35,7	1,94	54,0	5,30	41,4
Vegetação de alagado	0,08	1,4	0,03	0,8	0,23	1,8
Represa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,24	1,9
Total	5,69	100,0	3,59	100,0	12,8	100,0

De maneira geral a bacia de contribuição da represa apresentou área aproximada de 12,8 km², tendo a sub-bacia do córrego São Pedro até o ponto de monitoramento P2

aproximadamente 5,69 km² e a sub-bacia do córrego Grota do Pinto até o ponto de monitoramento P3 cerca de 3,59 km², como sendo as principais integrantes da BCRSP.

5.1.1 - Nascente do córrego São Pedro – P1

As características do uso e cobertura dos arredores da nascente estão relacionadas a práticas rurais. Há uma pequena mata ciliar que protege o corpo hídrico, porém sua largura em muitos pontos é inferior a 15 metros, dificultando sua classificação, uma vez que o tamanho do pixel da imagem utilizada foi de 15 metros. A pequena bacia da nascente é coberta por áreas de pasto que, em alguns locais, apresenta-se degradado e com atuação de processos erosivos. Nas áreas mais altas que delimitam a bacia e servem para a recarga da nascente existem pequenos fragmentos de mata.

Ao longo da pesquisa verificou-se que o terreno circundante ao P1 sofreu com a ocorrência de focos de incêndio. Atualmente essa área pertence à Universidade Federal de Juiz de Fora onde se planeja a construção de um parque tecnológico.

5.1.2 - Sub-bacia do córrego São Pedro até o ponto – P2

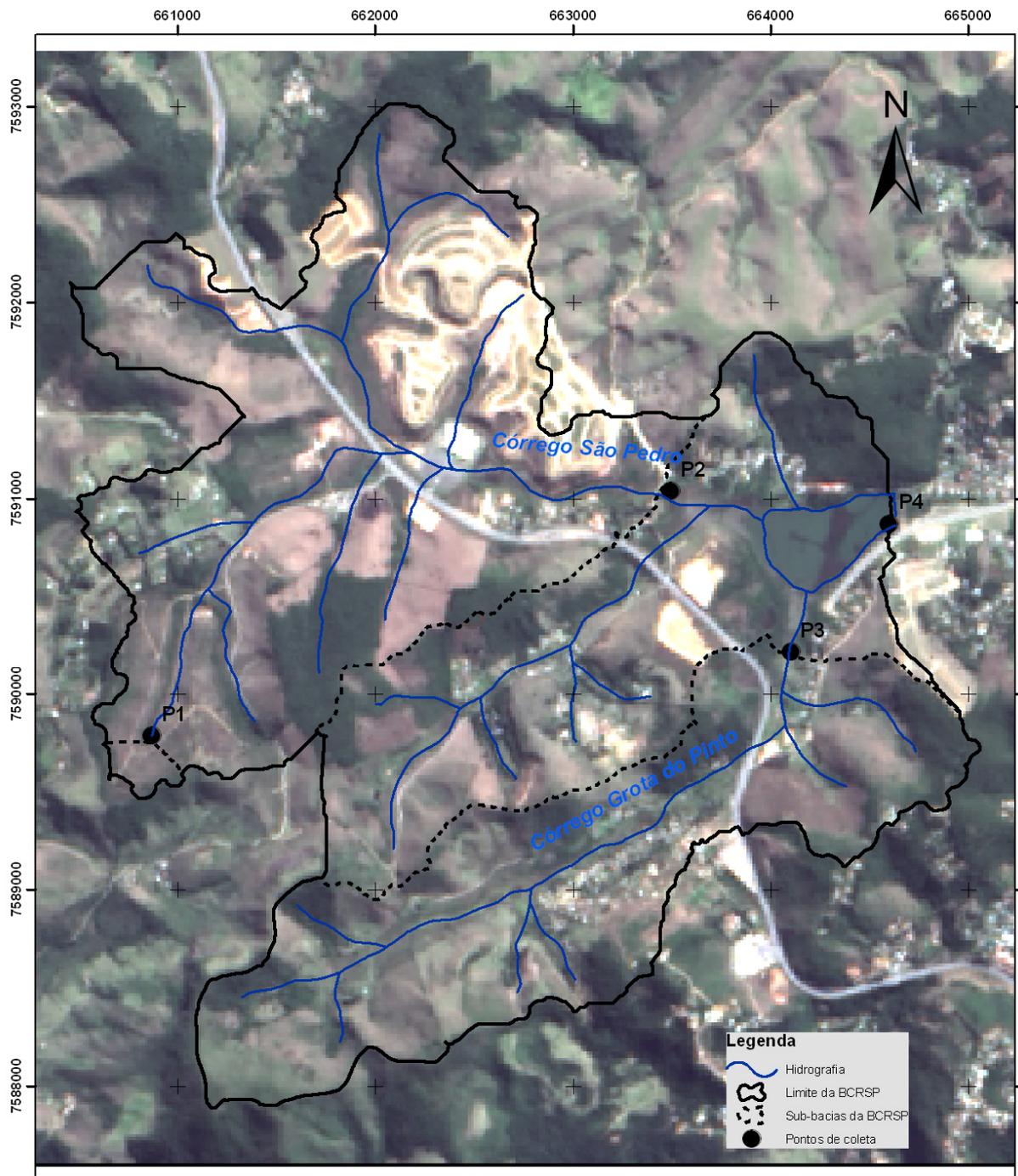
A área correspondente a essa sub-bacia é de aproximadamente 5,69 km² e se encontra sob forte pressão imobiliária. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para cada classe. Predominaram as áreas de pasto, cobrindo 35,7% do total, seguidas pelas áreas ocupadas que correspondem a 24,3%. A BR 040 corta a sub-bacia e em muitos pontos marginais a essa rodovia existem diversos tipos de empreendimentos sendo construídos. Embora o percentual dessa classe seja grande, suas características atuais se referem basicamente ao provimento de infraestrutura que visa à implantação de edificações. Na figura 8 é possível observar intenso revolvimento de terras para a construção de condomínio. Provavelmente haverá um aumento considerável da população dessa sub-bacia nos próximos anos.

A especulação imobiliária atua fortemente sobre essa região, comprometendo a qualidade das águas e do ambiente como um todo. Na carta de uso e cobertura – figura 9 é

possível observar vários tributários do córrego São Pedro gravemente afetados pela ocupação. Em muitos trechos as áreas de preservação permanente relativas às margens de rios foram totalmente suprimidas. A situação se agrava com a degradação das áreas de recarga de várias nascentes.

Existe um percentual de áreas com processos erosivos atuantes que supera as demais sub-bacias, correspondendo a 15,6% da área total. Esse valor contribui para a lixiviação e assoreamento dos corpos d'água. As áreas de mata corresponderam a 23% apresentando-se fragmentadas e desconexas e inviabilizando a existência de corredores ecológicos. Por fim, a vegetação de alagado contabilizou 1,4% sendo a menor classe de cobertura encontrada.

A situação dessa sub-bacia é preocupante e soma incoerências à finalidade que se destina – abastecimento público.



Fonte: United States Geological Survey - USGS
 Imagem Landsat 8 - 02/08/2013
 Bandas 4,3,2 e 8
 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.
 Datum WGS 1984
 UTM 23 S
 Elaboração - NAGEA

0 500 1.000 2.000 m

Figura 8: Composição de bandas 4, 3, 2 e 8 - Landsat 8 – 02/08/2013.

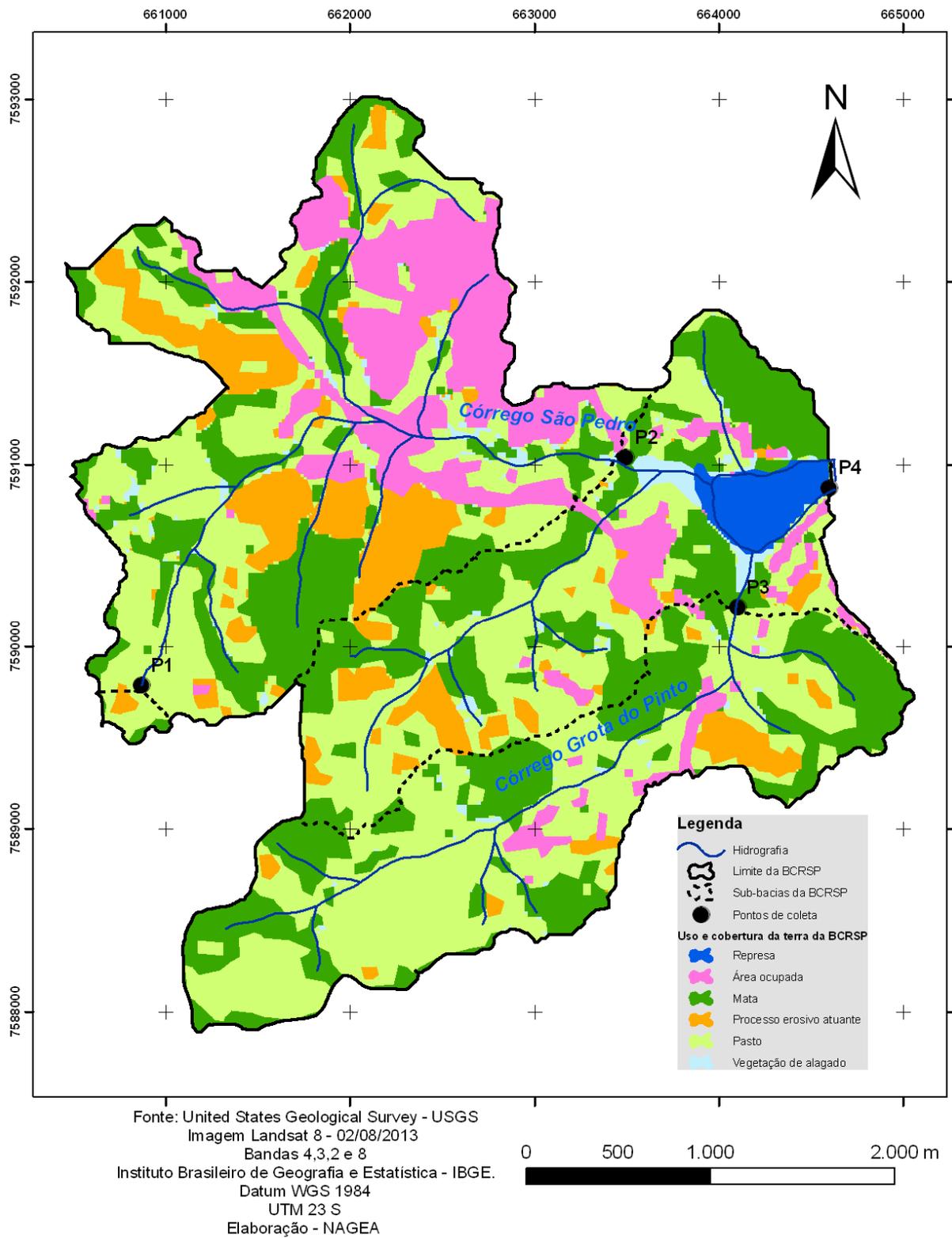


Figura 9: Carta de uso e cobertura da terra da BCRSP.

5.1.3 - Sub-bacia do córrego Grota do Pinto até o ponto P3

A área correspondente a essa sub-bacia é de aproximadamente 3,59 km², onde predominou a classe pasto, cobrindo cerca de 54% da área total. As áreas com processos erosivos atuantes corresponderam a aproximadamente 5,3%. Verificou-se em campo a existência de grande número de propriedades onde há criação de animais. Embora seja considerada uma área urbana, muitas atividades se relacionam a práticas rurais. O percentual de matas foi de 35,9%, apresentando-se fragmentada e inexistente em muitos trechos que margeiam o córrego em questão. Essas características atribuem riscos ao corpo hídrico.

A vegetação de alagado representou 0,8% do total e as áreas ocupadas somaram 3,9%, sendo compreendida por grande número de edificações. Como não há coleta de esgoto, em muitos locais os efluentes são despejados diretamente no córrego Grota do Pinto.

5.1.4 - Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro - BCRSP

A classe mais representativa dessa bacia foi o pasto, cobrindo cerca de 41,4% do total. Em seguida as matas representaram 30,1%. As áreas ocupadas cobriram 14,2% seguida pelas áreas com processos erosivos atuantes com 10,6%. A vegetação de alagado representou 1,8% da área total e a represa 1,9%.

A Tabela 6 descreve a situação da área em três momentos distintos. Embora as metodologias de elaboração das cartas de uso e cobertura não tenham sido iguais, é possível ter uma noção da evolução de determinadas classes ao longo do tempo, respeitando as limitações metodológicas. Nota-se que o valor encontrado para a área da bacia foi menor pela delimitação de 2013 (12800000 m²) devido à metodologia utilizada. Outro aspecto diz respeito à ausência de determinadas classes em uma ou outra carta.

Em um primeiro momento fica claro que o percentual de matas diminuiu nos últimos anos, uma vez que na carta de 2013 as matas de galeria, bem como a macega, tenham sido contabilizadas dentro da classe mata. Quanto à vegetação de alagado, houve diminuição.

Tabela 6: Classes de uso e cobertura da terra da BCRSP em momentos distintos.

Classes de uso e cobertura	Situação em 1937		Situação em 1997		Situação em 2013	
	área m ²	% bacia	área m ²	% bacia	área m ²	% bacia
Mata	1585000	11,4	2281000	16,3	3850000	30,1
Macega	945000	6,8	2897000	20,8	---	---
Culturas/cultivo	171000	1,2	474000	3,4	---	---
Mata galeria/vegetação de alagado	1363000	9,8	1003000	7,2	230000	1,8
Pasto	9698000	69,4	5497000	39,4	5300000	41,4
Áreas ocupadas	193000	1,4	1461000	10,4	1820000	14,2
Área com processo erosivo atuante	---	---	342000	2,5	1360000	10,6
Represa	---	---	---	---	240000	1,9
Bacia	13955000	100	13955000	100	12800000	100

Fonte: Machado (1998) e NAGEA.

Um aspecto de suma importância se refere ao percentual de áreas com processo erosivo atuante, que se elevou de 2,5% em 1997 para 10,6% em 2013. As áreas ocupadas também tiveram um aumento significativo nos últimos anos, passando de 1,4% em 1937 para 10,4% em 1997 e posteriormente para 14,2% em 2013. Quanto à classe pasto, houve uma redução de 69,4% em 1937 para 39,4% em 1997 e em seguida voltou a crescer, representando 41,4% em 2013.

Carvalho *et al.* (2010) caracterizam essa sub-bacia como possuindo baixa densidade de ocupação humana, com desenvolvimento de usos tipicamente rurais. Contudo, esse autor afirma que a presença da BR 040 e a implantação da Via São Pedro (em curso), bem como a construção do EXPOMINAS tem incentivado a valorização da área. Assim a especulação age comprando as terras ao preço de alqueires ou hectares para futuramente vendê-las como quinhões de loteamentos fechados, ao preço de metro quadrado.

Sobre os aspectos históricos de intervenções nessa bacia, Machado (1998) afirma que a mais significativa intervenção ocorrida na área foi a implantação da BR 040 que agiu como vetor de indução dos processos de ocupação urbana. O autor enfatiza que os trabalhos de construção da rodovia com movimentação de terras, cortes e aterros geraram inúmeros problemas à bacia, com destaque para a intensa atuação dos processos erosivos e aumento do assoreamento com substancial perda da capacidade armazenadora desse manancial. Cabe dizer que a construção da Via São Pedro à margem direita da represa suprimiu parte da mata ciliar existente deixando o manancial ainda mais susceptível.

Os tipos de uso e as perspectivas de ocupação dessa bacia apontam para a degradação de suas águas. Nas palavras de Santos & Hernandez (2013), as áreas urbanas, a má conservação do solo e as reduzidas áreas de matas, influenciam diretamente na qualidade e na

disponibilidade hídrica. Por esses motivos Ribeiro e Pizzo (2011) relatam que a Represa de São Pedro pode deixar de compor o sistema municipal de abastecimento caso não sejam tomadas as medidas necessárias à recuperação ambiental de sua bacia hidrográfica.

5.2 - Comportamento das variáveis ao longo da pesquisa

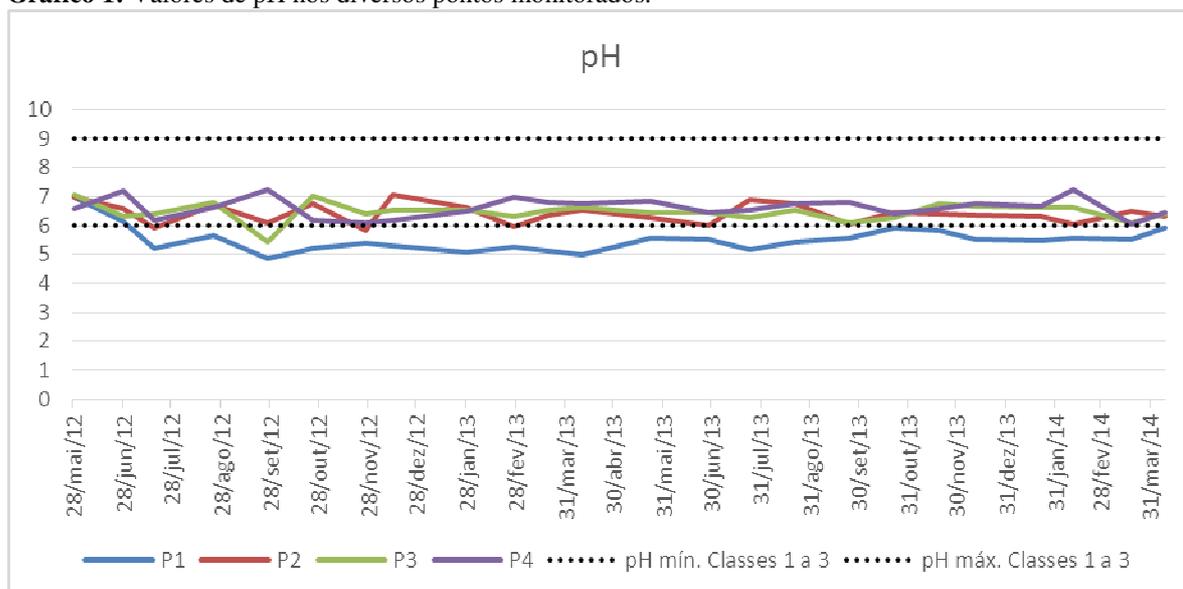
Procedendo ao comportamento das variáveis monitoradas ao longo da pesquisa e tendo em vista o estabelecido pela Deliberação Normativa do COPAM nº16 de 24 de setembro de 1996 (MINAS GERAIS, 1996), que classifica o Córrego São Pedro da nascente até a captação de águas como sendo de Classe 1, verificou-se:

5.2.1 - Potencial hidrogeniônico - pH

Com exceção do P1, nos demais pontos a variável pH manteve-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 (pH entre 6 e 9 para todas as classes) durante quase todo o período de monitoramento – gráfico 1. Isso porque em alguns meses os resultados referentes ao P2 e P3 apresentaram-se mais ácidos que o estabelecido.

Como afirma Machado (1998 p. 91), “na maior parte da bacia, principalmente nas áreas de vertentes, assim como ocorre no município, domina o latossolo, principalmente de coloração vermelho-amarela(...)”. Segundo EMBRAPA (2015) “mais de 95% dos latossolos são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5”.

Gráfico 1: Valores de pH nos diversos pontos monitorados.



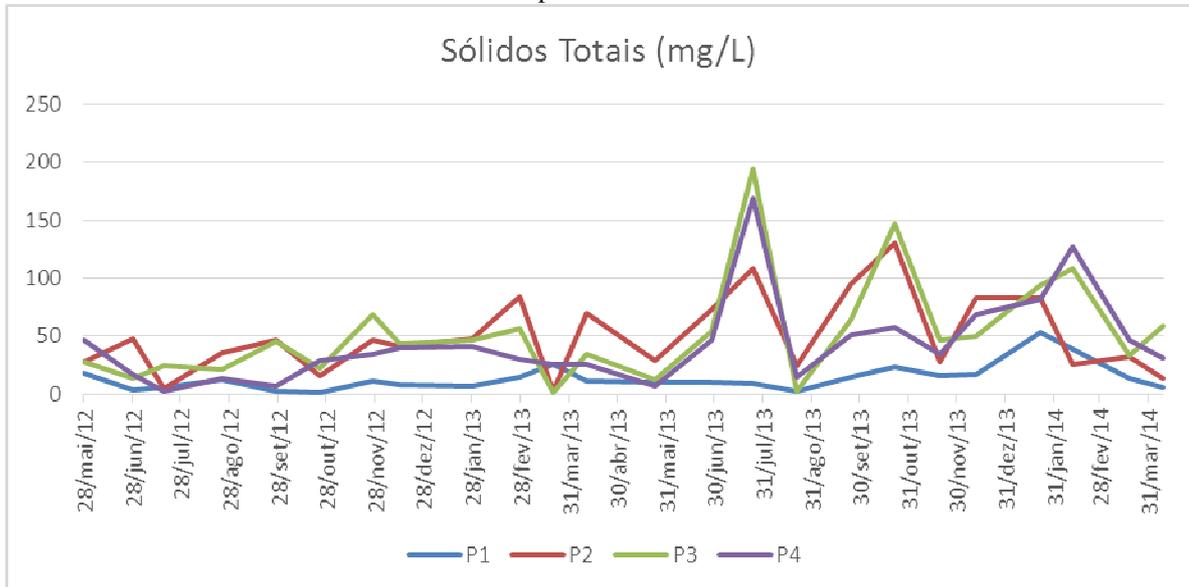
Por esse motivo, no P1 naturalmente as águas se caracterizaram como levemente ácidas e 91,7% dos resultados do pH mostraram-se abaixo do estabelecido pela resolução, enquanto apenas 8,3% estavam dentro dos critérios. No P2, em 12,5% das amostras, os valores do pH estiveram inferiores ao estabelecido e 87,5% se apresentaram dentro do limite. Quanto ao P3 apenas na coleta de 26 de setembro de 2012 o pH esteve abaixo do limite, correspondendo a 4,2% dos resultados contra 95,8% que estiveram em acordo com a referida resolução. Os valores de pH mais próximos da neutralidade foram obtidos no P4, onde 100% dos resultados se mantiveram dentro do intervalo estabelecido.

5.2.2 - Sólidos totais

Essa variável não possui limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. No entanto, sua importância é inquestionável conforme mencionado na revisão da literatura. No gráfico 2, é possível fazer uma nítida distinção do P1 em relação aos demais. Neste ponto, a pequena mata ciliar tem contribuído para a manutenção da qualidade de suas águas e proteção contra assoreamento. Em geral os valores obtidos para o P4 mantiveram-se abaixo dos pontos de exutório dos córregos, o que é explicado pela decantação. Porém, nas coletas de 24 de julho de 2013 e 11 de fevereiro de 2014 foram observados fortes picos nesse ponto, com

valores de 169 mg/L e 127 mg/L, respectivamente. O maior valor foi verificado no P3 na coleta de 24 de julho de 2013 correspondendo a 194 mg/L.

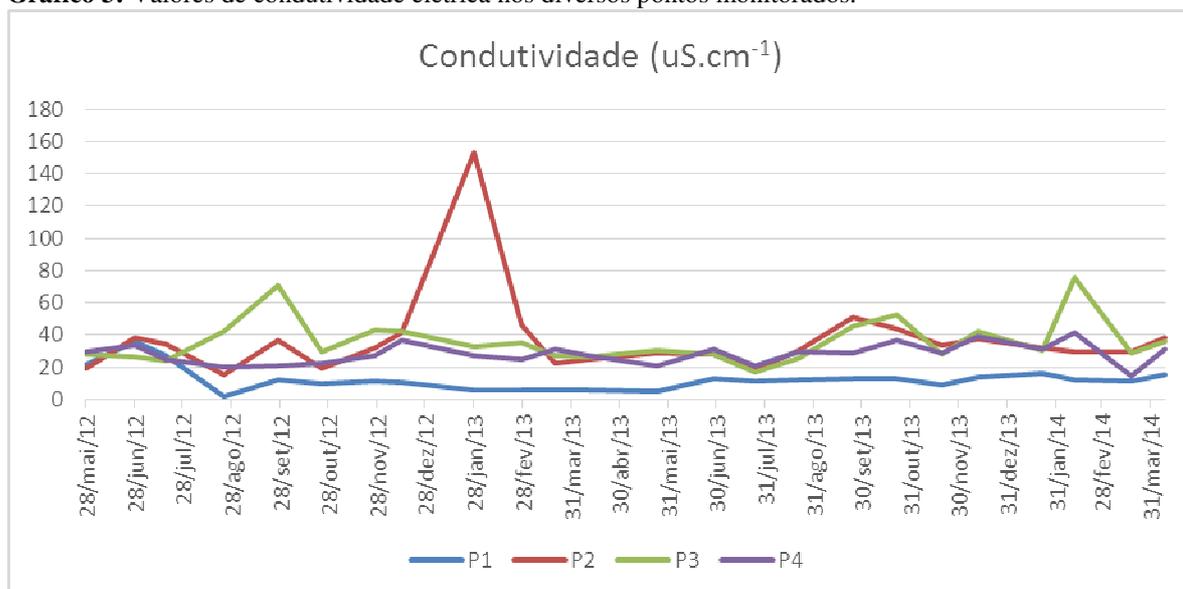
Gráfico 2: Valores de sólidos totais nos diversos pontos monitorados.



5.2.3 – Condutividade elétrica

Essa variável também não possui limites estabelecidos pela Resolução em questão. Novamente o P1 manteve forte distinção em relação aos demais, devido à ausência de fontes antrópicas de contaminação – gráfico 3.

Gráfico 3: Valores de condutividade elétrica nos diversos pontos monitorados.



Nota-se um pico acentuado no valor da condutividade no P2 para o mês de janeiro de 2012. Optou-se por manter esse valor nas análises estatísticas, visto que esse ponto está sujeito a diversos fatores que podem influenciar diretamente nos resultados de condutividade. São exemplos: o elevado revolvimento de terras em sua sub-bacia, os despejos de esgoto diretamente nesse córrego, o descarte de materiais e ou animais mortos nas proximidades, dentre outros fatores. A possibilidade de erro laboratorial também não foi descartada.

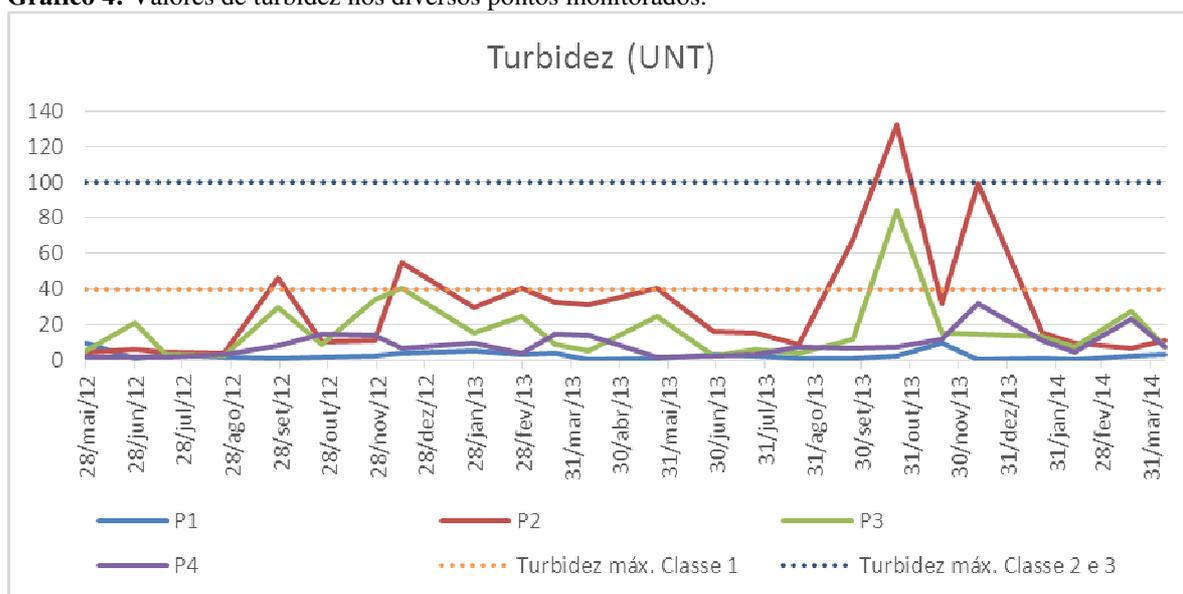
5.2.4 – Turbidez

Os valores de turbidez evidenciaram características do uso e cobertura de cada sub-bacia – gráfico 4. As amostras obtidas no P1 apresentaram-se sempre límpidas e translúcidas possivelmente por causa da proteção da pequena mata ciliar e 100% dos resultados estiveram de acordo com o estabelecido para a classe 1 (até 40 UNT) segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

O P2 obteve os valores mais elevados de turbidez, extrapolando, periodicamente, os limites da classe 1 a qual o córrego São Pedro é enquadrado pela DN COPAM nº 16/1996. No P2, 70,8% dos resultados estiveram dentro do disposto para a classe 1, ao passo que 25% estiveram dentro do estabelecido para as classes 2 e 3 (até 100 UNTs). Houve também um pico referente à coleta do dia 22 de outubro de 2013 que alcançou o valor de 132 UNTs e

correspondeu a 4,2% dos resultados, ultrapassando o limite das classes 2 e 3. Nessa sub-bacia foi encontrado o maior percentual de áreas ocupadas e de áreas com processo erosivo atuante em comparação com a sub-bacia do córrego Grota do Pinto. Valores muito altos foram verificados em ambos os córregos na coleta de outubro de 2013, devido às chuvas.

Gráfico 4: Valores de turbidez nos diversos pontos monitorados.



Com relação ao P3, 91,7% dos resultados são condizentes com o disposto para a classe 1 e 8,3% foram percebidos no que a referida resolução prevê para as classes 2 e 3.

Quanto ao P4, possivelmente devido à decantação de boa parte do material particulado na represa, 100% dos resultados estiveram de acordo com o estabelecido para a classe 1.

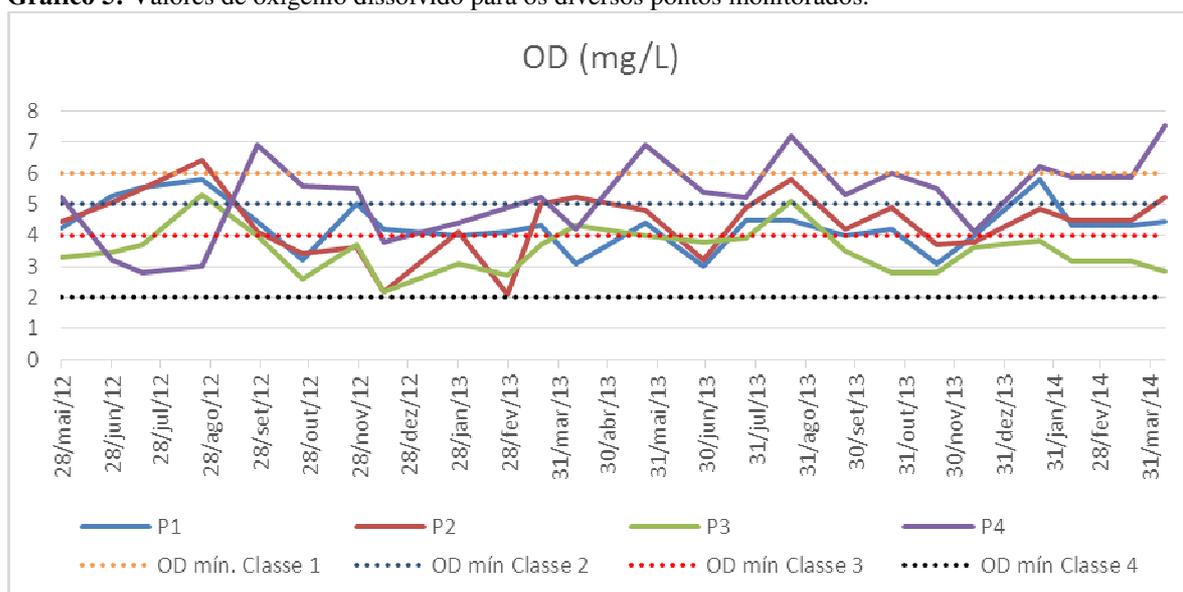
5.2.5 - Oxigênio dissolvido

Essa variável define bem as condições dos diversos pontos, sendo o P4 o que apresentou os melhores resultados – gráfico 5, variando na maioria dos meses, entre o que a Resolução CONAMA 357/2005 dispõe para as classes 1 (no mínimo 6 mg/L de OD) e 2 (no mínimo 5 mg/L de OD). Os valores encontrados no P1 devem ser analisados de maneira cautelosa por caracterizarem uma situação onde a água aflora do subsolo e tende a aumentar seus níveis de OD através do contato maior de sua superfície com a atmosfera. Tendo em vista tal ponderação, 20,8% dos resultados do P1 foram condizentes com o estabelecido para a

classe 2, enquanto 62,5% estiveram dispostos dentro do previsto para a classe 3 (no mínimo 4 mg/L de OD) e 16,7% dentro do disposto para a classe 4 (no mínimo 2 mg/L de OD).

O P2 e o P3 tiveram os piores resultados, chegando a patamares próximos de 2 mg/L nas coletas referentes a 13/12/2012 e 27/02/2013. No P2, 4,2% dos resultados estiveram dentro do disposto para a classe 1, 25% dentro do estabelecido para a classe 2, 41,6% compreenderam o estabelecido para a classe 3 e 29,2% o disposto para a classe 4.

Gráfico 5: Valores de oxigênio dissolvido para os diversos pontos monitorados.



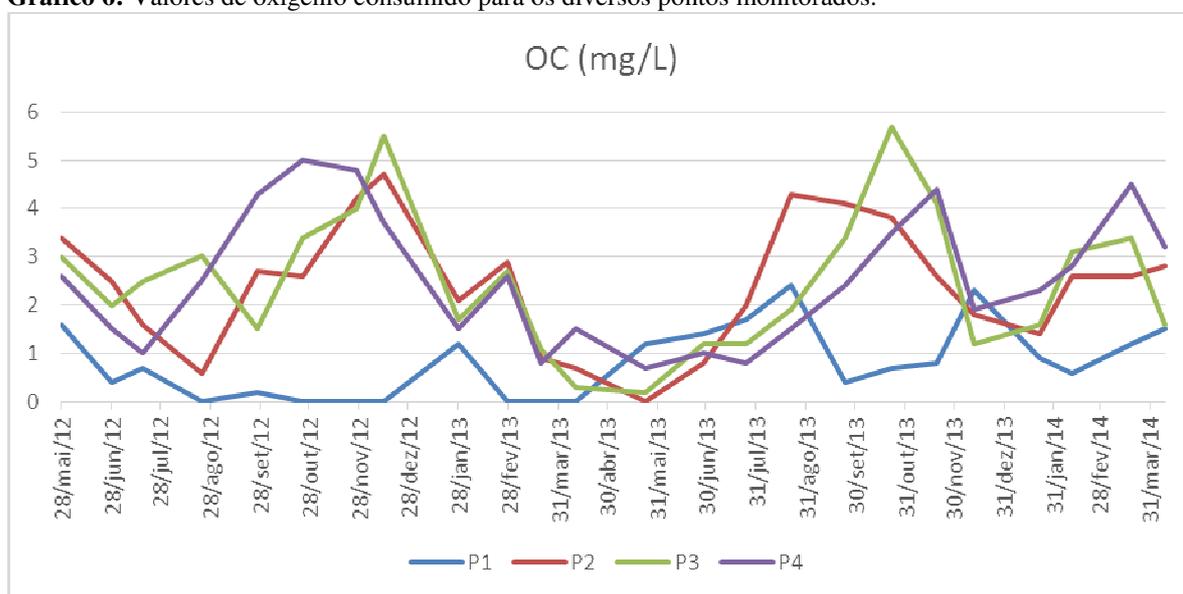
O P3 apresentou os menores valores de OD onde 8,3% dos resultados se compararam ao disposto para a classe 2, 12,5% se compararam ao disposto para a classe 3 e 79,2% ao previsto para a classe 4, fato que demonstra os impactos sofridos por esse córrego em relação à depleção do oxigênio dissolvido de suas águas. Sendo esse córrego um afluente do córrego São Pedro, sua classe de enquadramento é classe 1, havendo assim necessidades urgentes de implementação de políticas que visem à alcançar as disposições para tal classe.

Quanto ao P4, 25% dos resultados estiveram dentro do disposto para a classe 1, 41,6% foram condizente com o estabelecido para a classe 2, 16,7% compreenderam o disposto para a classe 3 e os mesmos 16,7% dos resultados foram percebidos no que a Resolução prevê para a classe 4. Essa melhoria nos níveis de OD se devem a fatores relacionados ao efeitos da autodepuração da Represa que serão discutidos posteriormente.

5.2.6 - Oxigênio consumido

Embora não existam limites definidos na Resolução CONAMA 357/2005 para as diversas classes de enquadramento, é possível perceber uma tendência cíclica de aumento nos períodos chuvosos – gráfico 6. O P1, entretanto, não segue essa tendência, apresentando os menores valores encontrados. Os demais pontos apresentaram comportamento semelhante entre si.

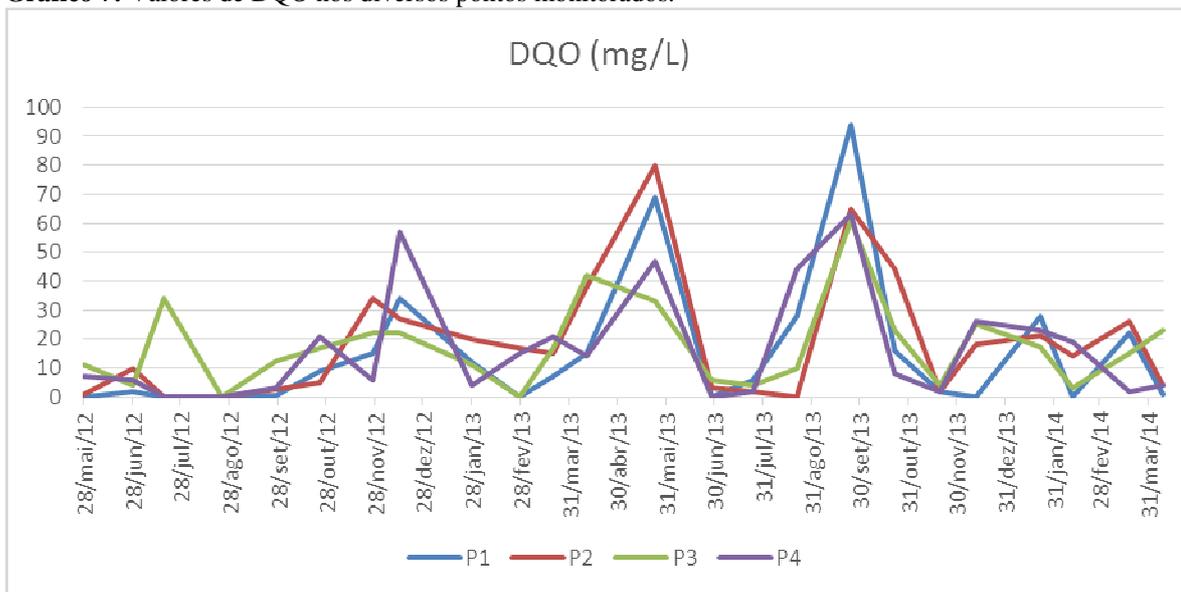
Gráfico 6: Valores de oxigênio consumido para os diversos pontos monitorados.



5.2.7 - Demanda química de oxigênio - DQO

Os resultados da DQO apresentaram comportamento semelhante entre os diversos pontos – gráfico 7, fato que pode estar relacionado à ocorrência de eventos chuvosos. Essa possibilidade se confirma devido às correlações entre essa variável a precipitação que será discutida posteriormente. O maior pico foi observado no P1 referente à coleta de 24 de setembro de 2013 com o valor de 94 mg/L. Cabe dizer que a DQO também não possui limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

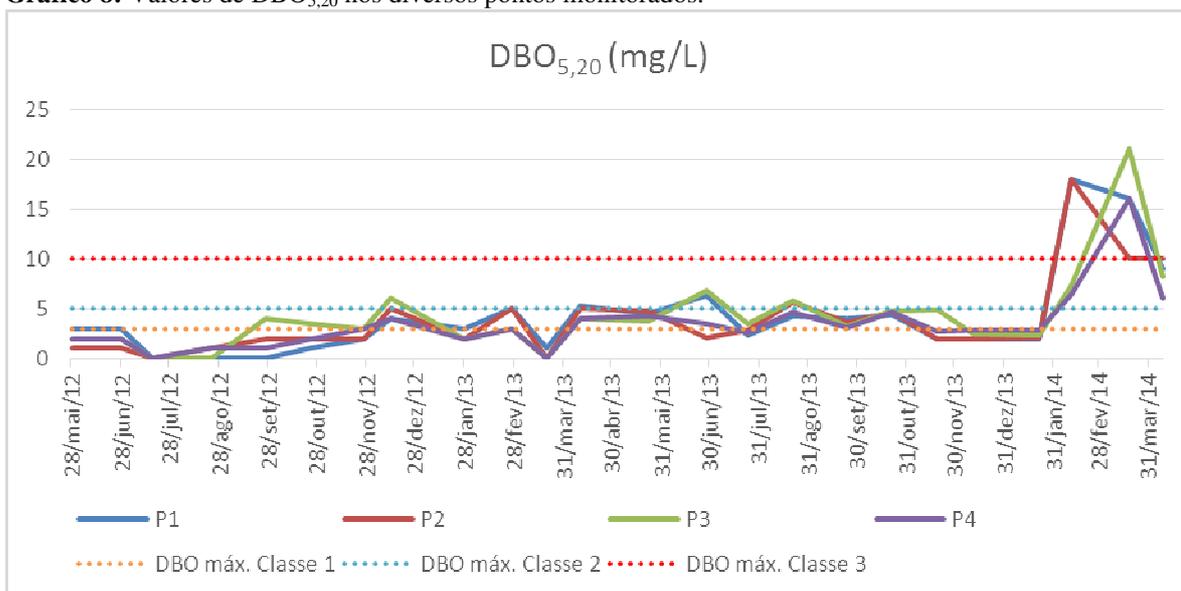
Gráfico 7: Valores de DQO nos diversos pontos monitorados.



5.2.8 - Demanda bioquímica de oxigênio - DBO_{5,20}

O comportamento da DBO_{5,20} também apresentou semelhanças entre os pontos – gráfico 8.

Gráfico 8: Valores de DBO_{5,20} nos diversos pontos monitorados.



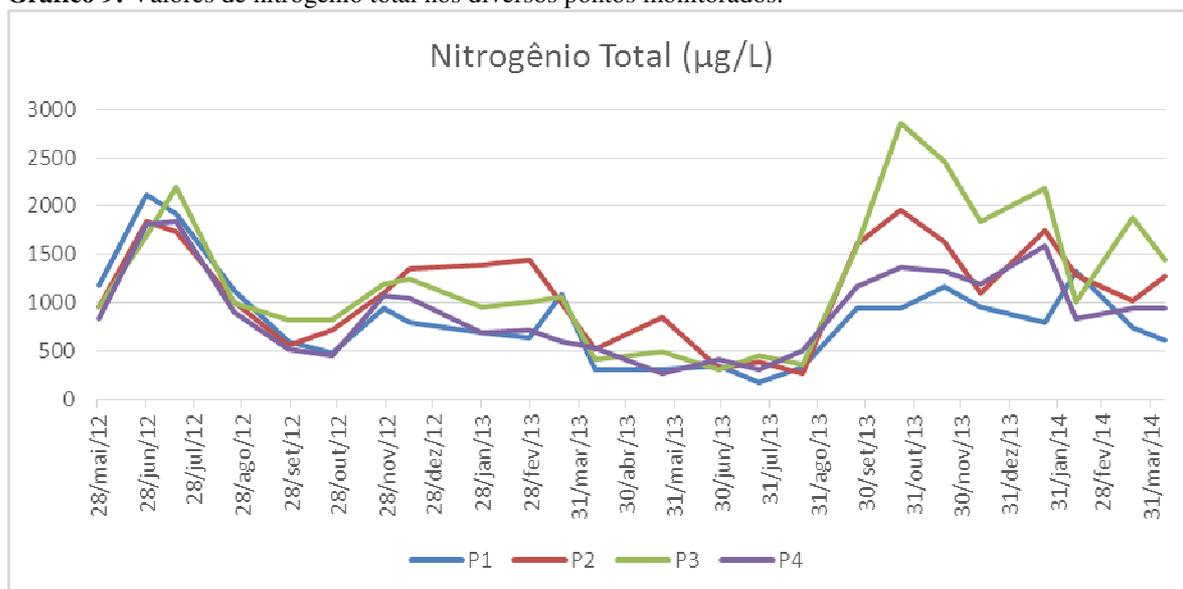
No entanto, os resultados extrapolaram periodicamente os limites estabelecidos para a classe 1, de até 3 mg/L, e apresentaram picos nos meses finais da pesquisa que foram além da classe 3, de até 10 mg/L. Verificou-se que 54,2% dos resultados do P1 estavam dentro do disposto para a classe 1, 25% dentro da classe 2, 12,5% corresponderam ao disposto para a classe 3 e 8,3% extrapolaram os limites da classe 3. No P2, 58,3% do total de resultados estiveram em acordo com a classe 1, 25% foram compreendidos no estabelecido para a classe 2, 12,5% foram compreendidos dentro do disposto para a classe 3 e uma amostra correspondendo a 4,2% ultrapassou o limite da classe 3. Quanto ao P3, 41,7% dos resultados estavam dentro dos limites da classe 1, enquanto 33,3% dentro dos limites da classe 2, 20,8% dentro do disposto para a classe 3 e o maior resultado encontrado no P3 na coleta de 19 de março de 2014 com 21 mg/L de $\text{DBO}_{5,20}$, correspondente a 4,2% dos resultados, extrapolou o disposto para a classe 3. Em relação ao P4, 58,3% estavam dentro dos limites da classe 1, ao passo que 29,2% estavam dentro do disposto para a classe 2. Dentro do estabelecido para a classe 3 foram encontrados 8,3% e uma amostra, equivalente a 4,2%, ultrapassou o disposto para a classe 3.

5.2.9 - Nitrogênio total

Essa variável, assim como outras já citadas, não possui limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. No gráfico 9, verifica-se comportamento semelhante na dinâmica do nitrogênio total nos diversos pontos, bem como uma tendência à elevação de suas concentrações nos meses finais da pesquisa. Essa mesma tendência também foi observada nas demais variáveis da série nitrogênio.

Os maiores picos ocorreram no P3 referentes às coletas de 22 de outubro de 2013 com o valor de 2853,6 $\mu\text{g/L}$ e 19 de novembro de 2013 com o valor de 2463,5 $\mu\text{g/L}$. As concentrações mais elevadas de nitrogênio total no P1 no início da pesquisa são resultado das altas concentrações de nitrato nesse mesmo período.

Gráfico 9: Valores de nitrogênio total nos diversos pontos monitorados.

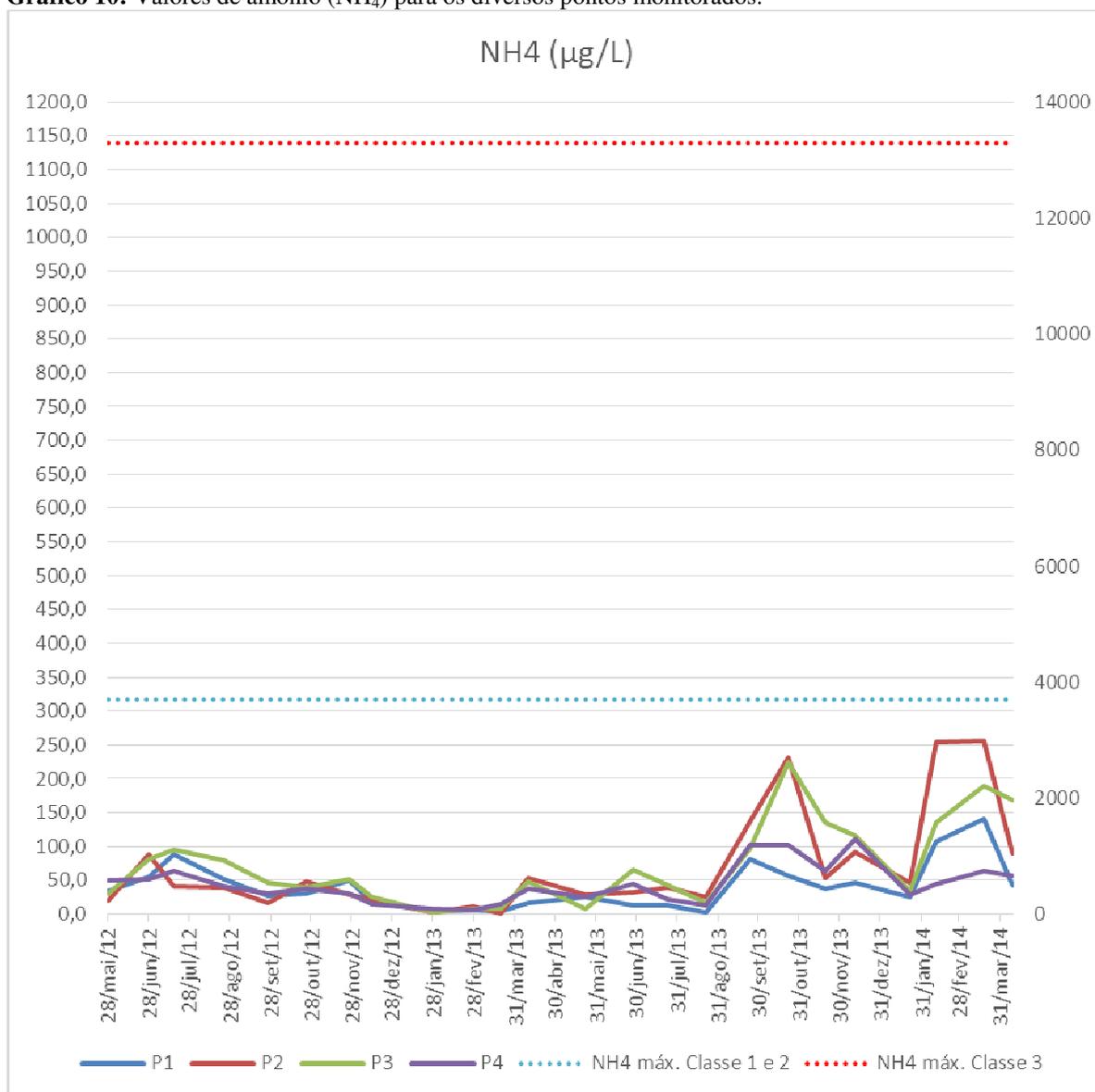


5.2.10 - Amônio (NH₄)

Os valores do nitrogênio amoniacal mantiveram-se sempre muito abaixo do nível estabelecido para a classe 1, até 3,7 mg/L para um pH \leq 7,5 – gráfico 10.

É notável, nos meses finais à pesquisa, a ocorrência de picos, principalmente nos pontos P2 e P3, com o valor máximo de 255,8 µg/L no P2 na coleta do dia 19 de março de 2014. Como poderá ser verificado posteriormente, o íon NH₄ manteve, na maioria dos pontos, forte correlação com a DBO_{5,20}, estando associado a poluição pontual próxima. No gráfico 10, o eixo secundário vertical apresenta os valores máximos referentes a cada classe de enquadramento.

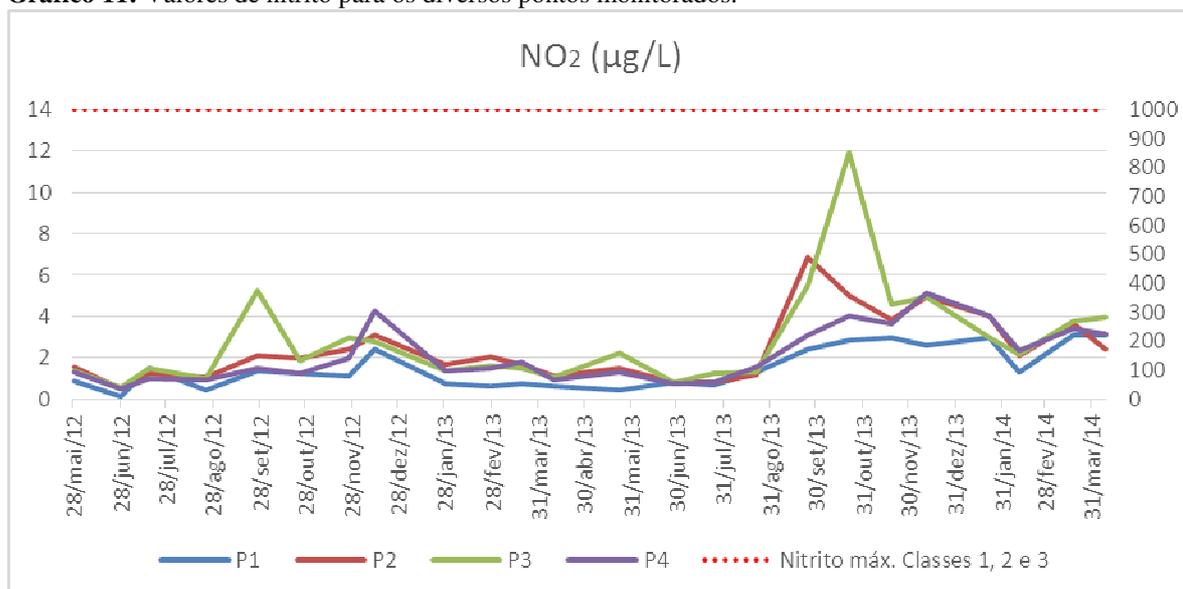
Gráfico 10: Valores de amônio (NH₄) para os diversos pontos monitorados.



5.2.11 - Nitrito (NO₂)

As concentrações de nitrito, assim como do amônio, também se apresentaram bem abaixo do estabelecido para a classe 1, de 1mg/L – gráfico 11. As menores concentrações ao longo da pesquisa foram observadas no P1, já os maiores picos ocorreram no P3, chegando ao patamar máximo de 11,9 µg/L referente à coleta de 22 de outubro de 2013.

Gráfico 11: Valores de nitrito para os diversos pontos monitorados.



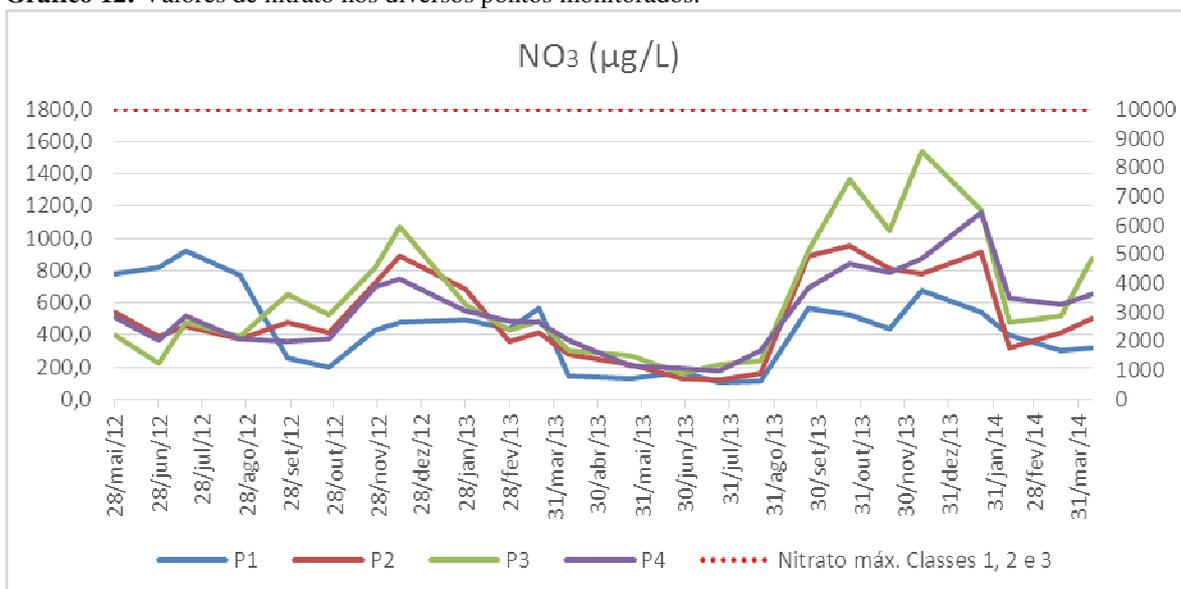
Outra ponderação se refere aos valores do eixo vertical secundário que representa o limite da Resolução CONAMA 357/2005 para as diversas classes.

5.2.12 - Nitrato (NO₃)

Esse parâmetro também se manteve dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para as diversas classes, 10 mg/L, assim representado pelo eixo secundário vertical – gráfico 12. De maneira geral o P1 obteve as menores concentrações, que, no entanto, fugiram da tendência cíclica de aumento no período chuvoso relativa aos demais pontos. Nos meses iniciais da pesquisa esse ponto apresentou concentrações mais altas que nos demais. Esse fato reflete os efeitos da drenagem de seus arredores, onde possivelmente deve ter havido aplicação de fertilizantes ou ocorrência de queimadas que liberaram esse nutriente para o solo e posteriormente foram carregados para o corpo hídrico.

Os maiores picos ocorreram no P3 nos meses referentes às coletas de 22 de outubro de 2013 com o valor de 1362 µg/L e 12 de dezembro de 2013 com o valor de 1539,2 µg/L.

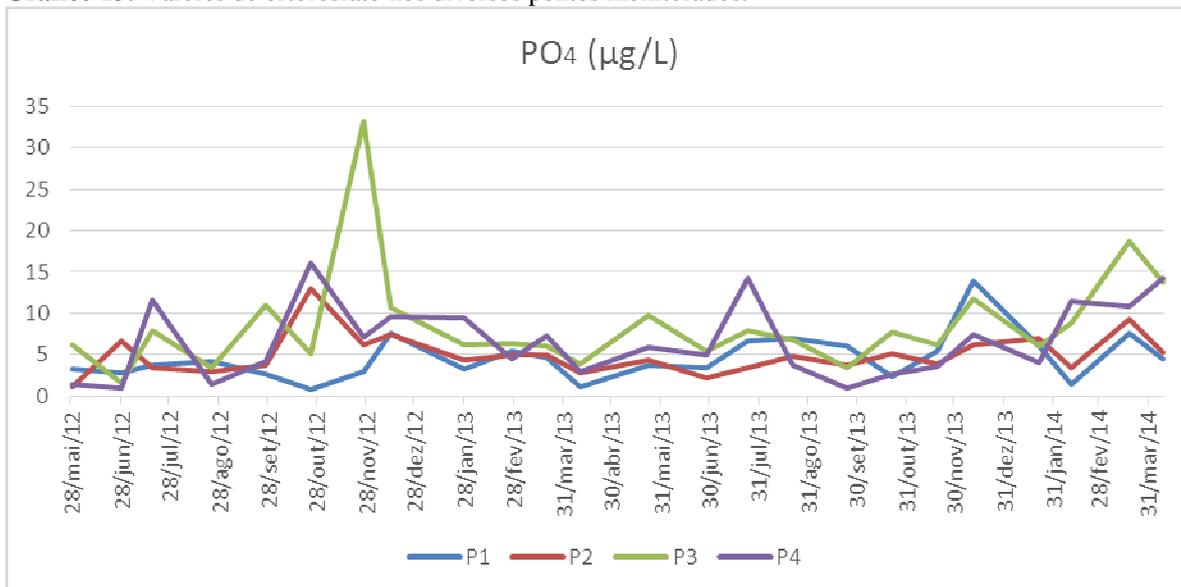
Gráfico 12: Valores de nitrato nos diversos pontos monitorados.



5.2.13 - Ortofosfato (PO₄)

O gráfico 13 apresenta os valores observados de ortofosfato nos diversos pontos. De maneira geral as concentrações foram sempre muito baixas, tendo o maior pico ocorrido no P3 referente à coleta de 26 de novembro de 2012 quando foi encontrado o valor de 33,17 µg/L.

Gráfico 13: Valores de ortofosfato nos diversos pontos monitorados.



Essa variável não possui limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, mas influencia fortemente os valores relativos ao fósforo total, com limites definidos para as classes.

5.2.14 - Fósforo total (PT)

Os valores referentes às classes pela Resolução CONAMA 357/2005 dependem do tipo de ambiente em questão. Por esse motivo o P4 foi considerado como ambiente lântico e os demais como tributários de ambiente lântico – gráficos 14 e 15.

No gráfico 14 é possível observar que em vários momentos os valores extrapolaram os limites estabelecidos para a classe 1 em ambientes referentes a tributários de lânticos, de até 0,025 mg/L. Assim, o P1 manteve 79,2% dos resultados dentro do limite para a classe 1 e 20,8% dos resultados dentro do disposto para a classe 2 (até 0,050 mg/L). Em relação ao P2, 58,3% dos resultados estiveram dentro do disposto para a classe 1, ao passo que 41,7% dentro do estabelecido para a classe 2. Quanto ao P3, este obteve as maiores concentrações. Nesse ponto, 25% dos resultados foram verificados dentro do limite da classe 1, enquanto 58,3% estavam dentro do limite para a classe 2, 12,5% dentro da classe 3 (até 0,075 mg/L) e uma amostra, correspondente a 4,2%, extrapolou o limite para a classe 3, sendo verificado na coleta de 22 de outubro de 2013 o valor de 113,3 µg/L

Gráfico 14: Valores de fósforo total para os pontos de monitoramento P1, P2 e P3.

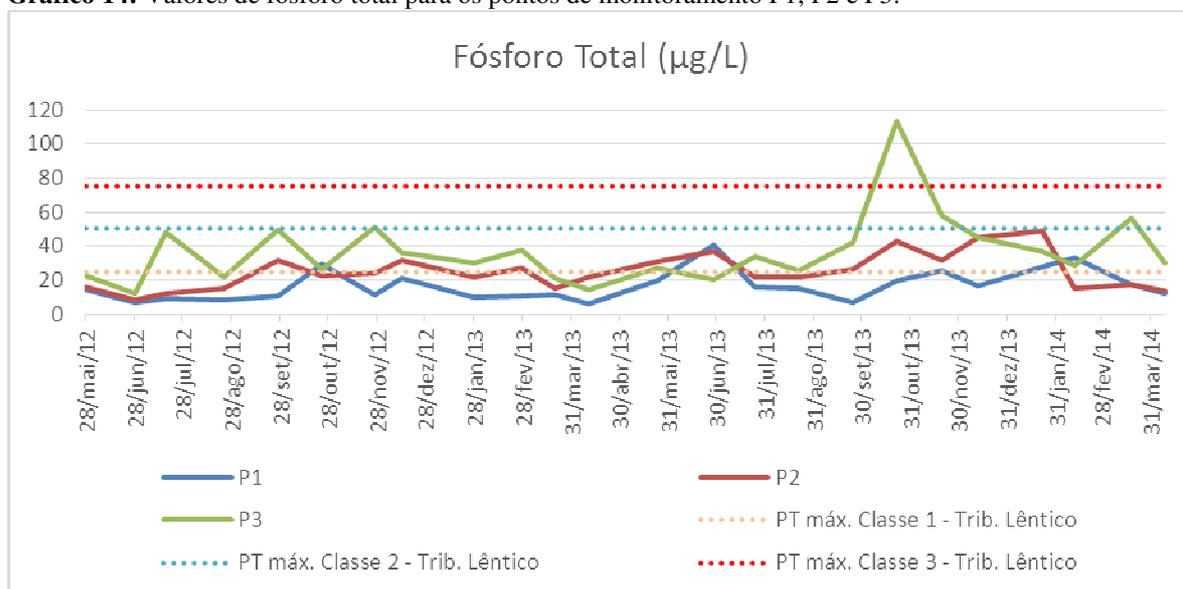
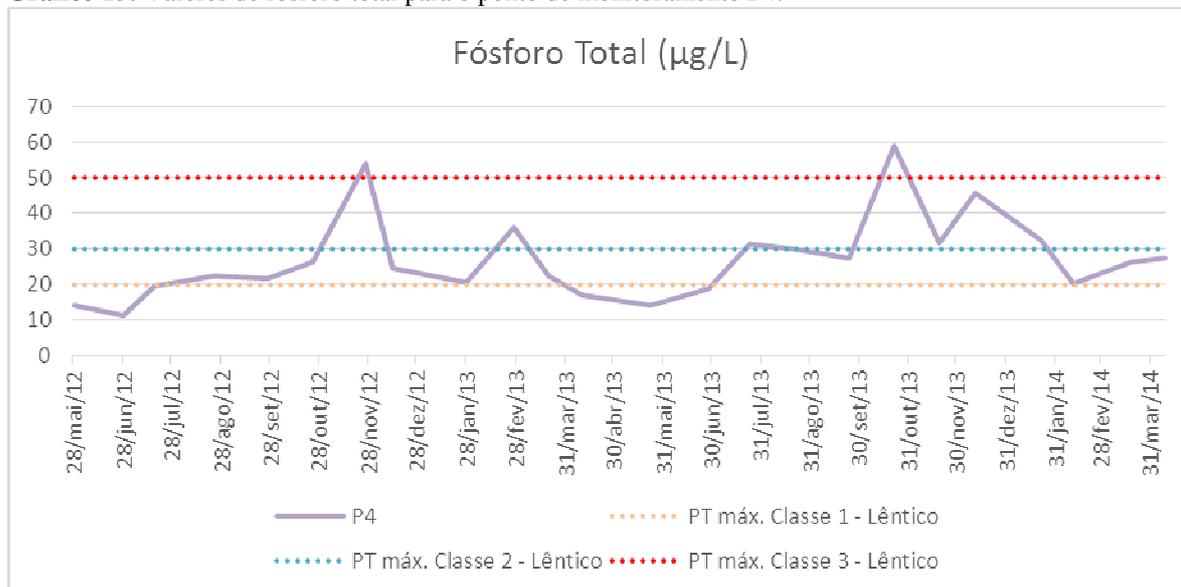


Gráfico 15: Valores de fósforo total para o ponto de monitoramento P4.



Na data supracitada, no P4, também ocorreu forte elevação desse parâmetro, alcançando o patamar de 58,9µg/L e extrapolando o limite da classe 3 para ambiente lênticos – 50 µg/L. Nesse ponto, 25% dos resultados foram verificados dentro do disposto para a classe 1 (ambiente lênticos), 45,9% estavam dentro do disposto para a classe 2. Dentro do limite da classe 3 foram verificados 20,8% e 8,3% extrapolaram o limite da classe 3.

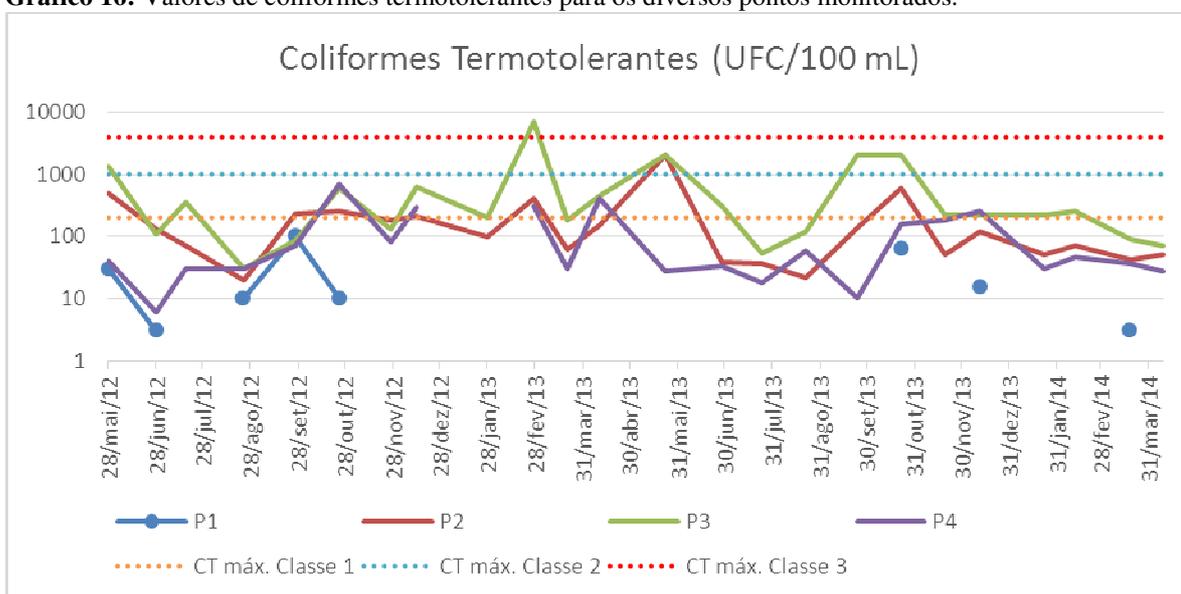
Quando comparados com a nascente, o P2 e P3 demonstraram o quanto os tipos de uso e cobertura da terra influenciaram nos valores do fósforo total. Uma importante observação se refere aos fortes picos na coleta de outubro de 2013 quando houve elevação de vários parâmetros analisados, devido à ação das chuvas.

5.2.15 - Coliformes termotolerantes

Os valores referentes ao eixo y do gráfico 16 foram apresentados em escala logarítmica visando a uma melhor representação dos dados. Por esse motivo, a descontinuidade nos valores do P1 e P4 significa ausência de coliformes ou valores iguais a zero UFC/100mL. Os pontos P2 e P3 obtiveram os maiores números de coliformes, extrapolando periodicamente os limites para a classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005. O P1 apresentou 100% dos resultados dentro do limite da classe 1. Já o P2 apresentou 70,8%

dos resultados dentro do estabelecido para a classe 1, 25% dentro do estabelecido para a classe 2, e uma amostra se equiparou ao estabelecido para a classe 3, correspondendo a 4,2% do total. Quanto ao P3, 41,7% dos resultados estiveram dentro do disposto para a classe 1, enquanto 37,5% estavam dentro dos limites para a classe 2. Comparáveis à classe 3 foram encontrados 16,7% dos resultados e uma amostra estava acima do limite para tal classe, equivalendo a 4,2%. Essa amostra correspondeu ao maior pico verificado na coleta de 27 de fevereiro de 2013, com o valor de 7000 UFCs. Com relação ao P4, 79,2% dos resultados estavam dentro do estabelecido para classe 1 e 20,8% dentro do limite para a classe 2.

Gráfico 16: Valores de coliformes termotolerantes para os diversos pontos monitorados.



5.3 – Resultados do Índice de Qualidade das Águas - IQA (IGAM adaptado e CETESB)

Os cálculos do IQA permitiram obter um panorama geral e de fácil comunicação sobre a qualidade da água dos pontos amostrais. Através dos resultados foi possível verificar que o IGAM atribui maiores restrições à classificação do IQA, uma vez que os valores numéricos obtidos por ambas as metodologias pouco se diferenciaram. Contudo, quando se procedeu aos critérios de classificação, houve grandes distinções.

5.3.1 – Resultados do IQA na nascente do córrego São Pedro – P1

No ponto P1, nascente do Córrego São Pedro, 66,7% dos valores de IQA se enquadraram na categoria “bom”, enquanto 33,3% na categoria “médio”, segundo o IGAM adaptado – Tabela 7. Para esse mesmo ponto, considerando os critérios da CETESB, nos meses de junho de 2012 e janeiro de 2014 o IQA foi “ótimo” – 8,3% dos resultados e para os demais meses, “bom” – 91,7%. Embora, fossem esperados valores elevados de IQA para a nascente que possibilitassem sempre a classificação nas categorias “bom” ou “excelente”, os resultados mostraram que existem fatores contribuindo para uma possível “piora” na qualidade da água. Conforme verificado em campo, os valores de OD e pH quase sempre se apresentaram baixos, sem, entretanto, existir alguma justificativa de origem antrópica.

Tabela 7: Cálculo dos IQAs IGAM adaptado e CETESB

	IGAM adaptado																							
	ANO 2012								ANO 2013								ANO 2014							
	28/ mai	28/ jun	17/ jul	23/ ago	26/ set	24/ out	26/ nov	13/ dez	28/ jan	27/ fev	20/ mar	10/ abr	23/ mai	28/ jun	24/ jul	21/ ago	24/ set	22/ out	19/ nov	12/ dez	22/ jan	11/ fev	19/ mar	9/ abr
P1	72	80	81	79	65	65	80	71	72	70	75	63	77	67	76	76	76	66	70	71	81	65	64	75
P2	69	72	74	83	61	67	63	55	66	45	71	67	57	65	75	75	61	53	64	61	72	57	69	69
P3	61	60	65	81	56	56	60	50	60	47	66	65	54	63	67	70	57	49	57	64	66	58	47	59
P4	78	74	63	67	81	68	72	66	82	75	79	65	82	77	79	77	82	73	72	63	79	79	64	78

	CETESB																							
	ANO 2012								ANO 2013								ANO 2014							
	28/ mai	28/ jun	17/ jul	23/ ago	26/ set	24/ out	26/ nov	13/ dez	28/ jan	27/ fev	20/ mar	10/ abr	23/ mai	28/ jun	24/ jul	21/ ago	24/ set	22/ out	19/ nov	12/ dez	22/ jan	11/ fev	19/ mar	9/ abr
P1	72	80	78	79	62	64	77	70	68	69	72	65	74	68	73	73	71	66	69	68	81	63	63	78
P2	66	72	72	82	60	63	61	53	66	49	72	68	56	62	72	79	59	51	64	58	70	57	72	73
P3	58	61	63	79	57	57	62	53	61	48	66	65	55	64	65	72	54	46	57	63	64	62	49	62
P4	76	71	65	66	80	68	71	62	82	72	79	64	81	76	77	77	81	72	72	64	79	81	65	82

Fonte: NAGEA. **Legenda:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

Tal fato contribuiu para que fossem encontrados baixos valores de “q_i” desses parâmetros, obtidos através da curva média de variação da qualidade que, quando elevados aos seus respectivos pesos – w_i, foram utilizados no produtório final do cálculo do IQA, conforme as Tabelas do Anexo 2. Esse fato, no entanto, se refere a uma característica natural do ecossistema nascente. Nestes locais a água flui do ambiente subterrâneo para a superfície, onde a interface com a atmosfera irá aumentar os níveis de OD a partir dali. Em direção à jusante, a turbulência da água se eleva ocasionada pelas irregularidades do terreno

favorecendo as trocas gasosas pela renovação da interface água – ar, evitando pontos de saturação localizada. Além disso, a presença de mata ciliar nesse ponto, ainda que em pequena quantidade, condiciona sombreamento, diminuindo as taxas de fotossíntese de algas, que, em geral são pouco presentes em ambientes lóticos.

Em relação ao pH, Fritzens *et al.* (2003) afirmam que esta variável constitui um dos parâmetros ambientais mais difíceis de serem interpretados, por sofrer influência de inúmeros fatores, tais como: sólidos e gases dissolvidos, dureza e alcalinidade, temperatura e os fatores bióticos. Além disso, as características do tipo de solo da região, no caso o Latossolo vermelho-amarelo, possivelmente estão associadas aos baixos valores de pH da nascente, por serem solos ácidos (EMBRAPA, 2015).

As Tabelas 8 e 9 apresentam as médias globais e por período do IQA IGAM adaptado e CETESB de cada ponto amostral respectivamente.

Tabela 8: Média global do IQA IGAM adaptado e CETESB.

	IGAM adaptado		CETESB	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
P1	72	± 5,9	71	± 5,7
P2	66	± 8,3	65	± 8,6
P3	60	± 7,8	60	± 7,4
P4	74	± 6,5	74	± 6,6

Fonte: NAGEA.

Tabela 9: Média do IQA IGAM adaptado e CETESB por período.

	IGAM adaptado				CETESB			
	Seca		Chuva		Seca		Chuva	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
P1	75	± 5,2	70	± 5,8	73	± 5,4	69	± 5,7
P2	69	± 8,2	63	± 7,7	68	± 8,8	63	± 8,0
P3	63	± 8,1	57	± 6,8	63	± 7,6	58	± 6,7
P4	76	± 6,3	73	± 6,5	75	± 5,8	73	± 7,2

Fonte: NAGEA.

Verificou-se que as médias do IQA no P1 se enquadraram sempre na categoria “bom”, seja na média global ou por período e em ambas as classificações – IGAM adaptado e CETESB. Contudo, houve uma leve queda nos valores com a ocorrência de chuvas devido ao efeito do carreamento de materiais alóctones e seus reflexos nas variáveis como pode ser observado na Tabela 9. Nota-se que não houve incremento nas médias dos parâmetros pH, CE, OD, OC, DQO, NO₃, NT e CT durante o período chuvoso – Tabela 10. Assim, à exceção

do OD e pH (difíceis de prever), tal diminuição de médias demonstra as peculiaridades do ambiente nascente, haja vista que era esperado comportamento contrário.

Tabela 10: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P1- Nascente do córrego São Pedro.

	Seca		Chuva	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
pH	5,6	±0,6	5,4	±0,3
ST (ppm)	9,0	±5,3	17,6	±14,0
CE	15,2	±10,3	10,4	±3,5
Tur.(UNT)	2,3	±2,8	2,8	±2,3
OD (mg/L)	4,6	±0,8	4,1	±0,7
OC (mg/ L)	1,0	±0,8	0,7	±0,7
DQO (mg/ L)	20,0	±34,1	11,5	±10,9
DBO _{5,20} (mg /L)	2,7	±2,2	5,3	±5,4
NH ₄ µg/L	39,0	±29,3	42,1	±39,3
NO ₂ µg/L	1,0	±0,7	1,9	±1,0
NO ₃ µg/L	463,2	±339,1	424,7	±144,9
NT µg/L	905,5	±689,4	819,7	±275,5
PO ₄ µg/L	4,4	±1,6	4,8	±3,4
PT µg/L	14,7	±10,1	17,9	±8,4
CT UFC	14,3	±31,6	6,4	±16,6

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO_{5,20} – demanda bioquímica de oxigênio; NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS** - cores: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

Como dito anteriormente, a variação sazonal entre os parâmetros que compõem os IQAs refletem os efeitos das chuvas na qualidade da água através do carreamento. Por tal motivo, faz-se necessário manter um monitoramento sistemático em períodos distintos. Nesse ponto de monitoramento – P1, a pequena mata ciliar que protege a nascente é insuficiente, correspondendo a aproximadamente 10 metros de raio. Essa medida sequer se aproxima dos 50 metros exigidos pela legislação – Lei 12.651/2012 que caracteriza a área como sendo de preservação permanente (BRASIL, 2012). Os arredores constituem pasto em fase de recuperação conforme é possível observar na figura 10. Convém dizer que mesmo essa mata sendo insuficiente, seus efeitos benéficos são fortemente sentidos e traduzem particularidades do ambiente.

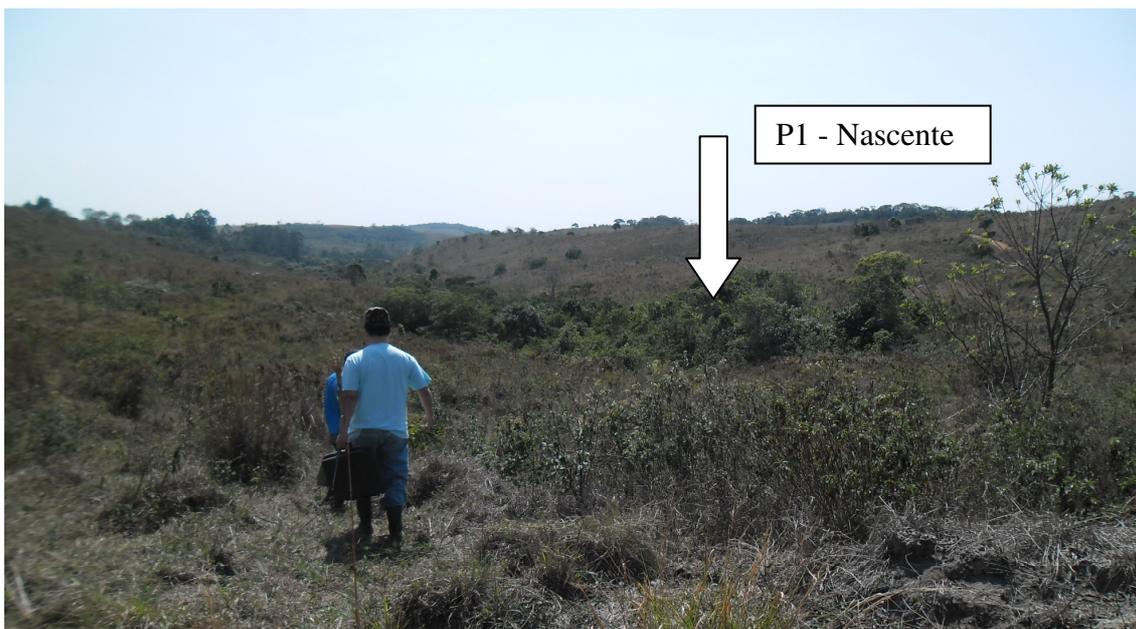


Figura 10: Nascente do Córrego São Pedro – P1. **Fonte:** NAGEA – 27/01/2015.

5.3.2 – Resultados do IQA no exutório do córrego São Pedro – P2

No ponto P2, pelos critérios do IGAM adaptado, no mês de fevereiro de 2013 a água foi classificada como “ruim” – IQA = 45, equivalendo a 4,2% dos resultados – Tabela 7. A classificação do IQA como “médio” foi verificada durante 16 meses, equivalendo a 66,7% dos dados e a classificação IQA “Bom” foi encontrada em 7 meses, 29,1%. A média global foi IQA = 66 e por período houve diminuição de 69 para 63 com as chuvas, sempre se mantendo na classe IQA “médio” – Tabelas 8 e 9. As classificações pela CETESB indicaram que no mês de agosto de 2012 a água foi enquadrada como “ótima” - 4,2% dos dados - Tabela 7. Já os meses de fevereiro de 2013 e outubro de 2013 a água se enquadrou como “aceitável” – 8,3% dos resultados. Para os demais 21 meses a água foi classificada como “boa” – somando 87,5%. Em termos de média global o resultado foi IQA = 65 e por período diminuiu de 68 para 63 devido às chuvas, mantendo sempre a classificação da qualidade da água como “boa” – Tabelas 8 e 9.

Nesse ponto, o oxigênio dissolvido, os coliformes termotolerantes e a turbidez foram os parâmetros que obtiveram os menores valores “ q_i ” na curva média de variação da qualidade. A elevada turbidez das águas coletadas no exutório do córrego pode ser justificada pelo revolvimento de terras e exposição do solo para a construção de condomínios, bem como

outros tipos de intervenção de origem antrópica, como despejos de esgotos – *vide* item 5.1 Sub-bacia do córrego São Pedro até o ponto – P2.

Muitos são os impactos visivelmente perceptíveis nas proximidades do P2, a exemplo do despejo de lixo e restos de materiais da construção civil há poucos metros desse ponto de monitoramento - figuras 11 e 12. É possível perceber material com elevado potencial poluidor, tal como o lixo eletrônico - figura 12.

A ausência de matas de galeria intensifica os efeitos do carreamento para o interior do córrego refletindo na degradação de suas águas, assoreamento de seu leito, extinção de espécies e outros efeitos como o aumento da DBO_{5,20} e consequente diminuição do OD como descrito na Tabela 11. Esta Tabela aponta as médias de cada parâmetro nos períodos de seca e chuva. Nota-se que a turbidez no período de chuvas se eleva de 21,3 para 36,7 UNTs. Quanto aos coliformes, houve diminuição da média no período chuvoso. Uma explicação seria a diluição, posto que sua origem estivesse associada a despejos de esgoto. A intensidade das alterações dos parâmetros na estação chuvosa demonstrou o quanto esse efeito reflete a qualidade da água verificada pelos IQAs e quão necessário é manter as condições naturais, que deveriam existir nas APPs, com a finalidade de minimizar os efeitos adversos das chuvas.

Tabela 11: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P2 - Exutório do córrego São Pedro.

	Seca		Chuva	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
pH	6,4	±0,4	6,4	±0,3
ST (ppm)	49,3	±32,8	50,4	±35,4
CE	30,0	±10,8	41,6	±33,0
Tur.(UNT)	21,3	±22,4	36,7	±36,8
OD (mg/L)	4,8	±0,9	4,1	±1,0
OC (mg/ L)	2,2	±1,5	2,6	±1,2
DQO (mg/ L)	16,4	±29,9	20,4	±12,6
DBO _{5,20} (mg /L)	2,4	±1,8	5,0	±4,8
NH ₄ µg/L	47,1	±37,4	84,9	±92,1
NO ₂ µg/L	1,8	±1,8	2,9	±1,2
NO ₃ µg/L	376,4	±236,1	604,7	±242,3
NT µg/L	952,3	±594,9	1252,3	±386,9
PO ₄ µg/L	3,7	±1,5	6,0	±2,6
PT µg/L	22,1	±9,4	27,2	±11,5
CT UFC	318,6	±608,5	166,6	±158,8

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO_{5,20} – demanda bioquímica de oxigênio; NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS** - cores: rósea – período seco; azul – período chuvoso.



Figura 11: Despejo de lixo e resíduos da construção civil próximo ao P2. **Fonte:** NAGEA – 24/09/2013.



Figura 12: Lixo eletrônico, entulho e outros materiais próximos ao P2. **Fonte:** NAGEA – 24/09/2013.

5.3.3 – Resultados do IQA no exutório do córrego Grota do Pinto – P3

O P3 apresentou os menores valores de IQA, caracterizando-se como o mais impactado dos pontos monitorados – Tabela 7. Esse fato também foi noticiado pela mídia local (VALENTE, 2015) e faz referência aos trabalhos desenvolvidos pelo NAGEA com utilização de um índice denominado: índice de conformidade ao enquadramento – ICE (CCME, 2014) que mede o quanto as variáveis de qualidade de água se desviam do enquadramento previsto em resolução. Os resultados desse trabalho classificaram os pontos P1, P2 e P4 como “regular”, separando do P3, classificado como “ruim”.

Quanto ao IQA, pela classificação do IGAM adaptado, nos meses de dezembro de 2012 – IQA = 50, fevereiro de 2013 – IQA = 47, outubro de 2013 - IQA = 49 e março de 2014 - IQA = 47 a água foi classificada como “ruim”, representando 16,7% dos dados. Apenas no mês de agosto de 2012 o IQA foi “bom”, equivalendo a 4,2% dos resultados. Os demais meses se enquadraram na classe IQA “médio”, 79,1 % dos dados. Procedendo à classificação da CETESB, os meses de fevereiro de 2013, outubro de 2013 e março de 2014 foram enquadrados na classe “aceitável” – 12,5%. Os demais meses a água foi classificada como “boa” – 87,5% - Tabela 7.

Na média global, os valores obtidos foram iguais para ambas as metodologias IQA = 60, diferindo apenas na classificação – IQA “médio” pelo IGAM adaptado e qualidade da água “boa” para a CETESB – Tabela 8. As médias por período pioraram com as chuvas. Houve uma queda nos valores de 63 para 57 pelo IGAM adaptado e 63 para 58 pela CETESB, mantendo, entretanto, suas classificações – Tabela 9. Os impactos sobre esse ponto podem ser caracterizados como provenientes de poluição difusa e pontual - figura 13. Observa-se um grande número de granjas com esgoto sendo despejado diretamente sobre esse córrego sem nenhum tipo de tratamento e os valores médios de coliformes fecais observados na Tabela 12 refletem esse fato. Comparando com o P2, no período da seca o valor médio de coliformes encontrados no P3 é quase o dobro e no período das chuvas esse valor quintuplica.



Figura 13: Foto sobre o ponto de monitoramento P3 com vista para granjas e esgoto doméstico. **Fonte:** NAGEA – 24/09/2013.

Assim como acontece em quase todos os córregos que compõem a BCRSP, a ausência de vegetação ciliar deixa o córrego Grota do Pinto vulnerável aos diversos efeitos negativos oriundos da supressão dessas matas, a exemplo do aumento da turbidez e outros parâmetros que compõem o IQA: ST, $DBO_{5,20}$, NO_3 , NT e PT com as chuvas – Tabela 12. Os pontos P2 e P3, por constituírem pontos de exutório dos córregos na represa, e desprovidos de proteção ciliar em boa parte de seus cursos, refletem de maneira intensa os efeitos da drenagem de suas sub-bacias, apresentando características semelhantes na dinâmica de seus IQAs. Os parâmetros que obtiveram os menores valores “ q_i ” na curva média de variação da qualidade no P3 foram os mesmos do P2. Entretanto, o oxigênio dissolvido e os coliformes termotolerantes tiveram seus valores de qualidade do parâmetro “ q_i ” ainda menores – *vide* Tabela 3 do Anexo 2. Isso se deve a fontes de poluição pontual que nesse ponto são mais frequentes. Outra característica importante é que os valores de turbidez encontrados no P2 no período seco se comparam ao que foi encontrado no P3 no período chuvoso. Fica evidente os efeitos adversos do intenso revolvimento de terras nos arredores da sub-bacia do córrego São Pedro até o P2. Os conflitos de interesses de uso da bacia estão refletindo na contaminação das águas ou mesmo na diminuição através da impermeabilização do solo, desmatamento de áreas de recarga, assoreamento, dentre outros.

Tabela 12: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P3 - exutório do córrego Grota do Pinto.

	Seca		Chuva	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
pH	6,4	±0,4	6,5	±0,2
ST (ppm)	45,9	±55,6	57,8	±37,3
CE	33,8	±15,6	37,9	±13,3
Tur.(UNT)	10,8	±10,3	21,8	±20,8
OD (mg/L)	4,0	±0,7	3,2	±0,6
OC (mg/ L)	2,0	±1,0	2,8	±1,7
DQO (mg/ L)	17,5	±19,2	17,2	±10,7
DBO _{5,20} (mg /L)	3,1	±2,2	4,0	±2,2
NH ₄ µg/L	56,6	±31,9	84,7	±74,9
NO ₂ µg/L	2,1	±1,8	3,4	±2,7
NO ₃ µg/L	394,0	±237,9	800,9	±385,8
NT µg/L	984,2	±642,3	1456,1	±692,5
PO ₄ µg/L	6,3	±3,0	10,3	±7,7
PT µg/L	30,4	±12,7	41,8	±24,2
CT UFC	634,9	±810,3	876,0	±1829,7

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO_{5,20} – demanda bioquímica de oxigênio; NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS** - cores: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

5.3.4 – Resultados do IQA na captação da Represa de São Pedro – P4

O P4 apresentou os melhores resultados de IQA. A quantificação mensal, pela classificação do IGAM adaptado mostrou que em 17 meses o IQA foi “bom”, 70,8% do total, ao passo que em 7 meses a classe foi IQA “médio”, 29,2% dos resultados. Pela CETESB, em 6 meses foram encontrados resultados que classificaram a qualidade da água como “ótima” – 25% e os demais 18 meses a classe verificada foi “boa” – 75% - Tabela 7. A média global foi IQA = 74 tanto para o IGAM adaptado (classe “bom”) quanto para a CETESB (classe “boa”) – Tabela 8. Em relação à média por período, os resultados segundo o IGAM adaptado foram IQA = 76 na seca e 73 na chuva, sempre na classe “bom”. Segundo a CETESB, na seca a média foi IQA = 75 e no período das chuvas caiu para 73, classificando a água como “boa” – Tabela 9. As pequenas variações nas médias entre o IQA do período de seca e de chuvas ocorreram devido ao efeito da autodepuração da Represa que manteve o parâmetro pH próximo da neutralidade e elevou os níveis de OD mesmo havendo aporte de matéria orgânica com as chuvas – Tabela 13. Os efeitos da autodepuração também contribuíram para a

melhoria de outros parâmetros relativos ao IQA, que, entretanto, demandam maiores estudos para serem bem compreendidos.

Os resultados encontrados no P4 camuflam a real situação entre a qualidade da água na represa quando comparada à nascente – P1. Ao considerar apenas os valores desses índices, há uma ilusão de que a água da captação se encontra em níveis de maior qualidade, haja vista que nesse ponto existem sérios impactos que atuam sobre a bacia e refletem em seu exutório, no caso a captação da represa.

Verificou-se que dentre os parâmetros que compõem o IQA, a variável coliformes termotolerantes obteve os menores valores de “ q_i ” na curva média de variação da qualidade e que tal parâmetro eleva suas médias na estação chuvosa – Tabela 13, contrastando seriamente com a finalidade atribuída às águas que são captadas.

Ficou evidente a maior rigorosidade dos critérios do IGAM na classificação do IQA. As visitas de campo demonstraram que as classes de enquadramento definidas por esse órgão foram condizentes com os fatos observados *in loco* e com os dados levantados através da elaboração da carta de uso e cobertura da terra da BCRSP.

Tabela 13: Médias e desvio padrão das variáveis monitoradas no P4 - captação da Represa de São Pedro.

	Seca		Chuva	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
pH	6,7	±0,3	6,5	±0,3
ST (ppm)	37,6	±49,6	48,0	28,2
CE	26,1	±5,1	29,9	±7,1
Tur.(UNT)	3,6	±2,5	12,3	±7,5
OD (mg/L)	5,1	±1,6	5,3	±1,0
OC (mg/ L)	1,8	±1,1	3,0	±1,3
DQO (mg/ L)	17,2	±24,1	15,9	±14,5
DBO _{5,20} (mg /L)	2,4	±1,5	4,2	±3,8
NH ₄ µg/L	44,5	±25,2	44,5	±32,4
NO ₂ µg/L	1,3	±0,7	2,8	±1,3
NO ₃ µg/L	369,5	±164,5	659,6	±216,8
NT µg/L	856,6	±582,5	949,1	±338,0
PO ₄ µg/L	4,9	±4,6	8,0	±4,2
PT µg/L	21,0	±6,9	31,6	±12,9
CT UFC	32,4	±20,2	181,4	±196,4

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO_{5,20} – demanda bioquímica de oxigênio; NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS** - cores: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

Através do cálculo do IQA foi possível demonstrar que as águas da BCRSP, estão sendo comprometidas pela incompatibilidade de interesses de uso da terra e pelo descaso de certos segmentos do poder público em relação à preservação desse manancial. Foi possível observar quais parâmetros obtiveram os menores valores na curva média de variação da qualidade e assim pressupor através da carta de uso e cobertura da terra da bacia e das visitas de campo quais os motivos que condicionam a piora dessas variáveis.

As análises estatísticas que sucedem terão como objetivo compreender melhor a dinâmica dos parâmetros analisados no intuito de obter um panorama sobre os fenômenos que atuam de maneira mais intensa sobre as variáveis e assim confrontar os resultados com todos os demais dados, sejam aqueles observados em campo, na carta de uso, no cálculo do IQA e nas variações de médias.

5.4 – Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais

A análise fatorial/análise de componentes principais foi realizada com os dados de cada ponto de monitoramento fornecendo importantes informações sobre as particularidades de cada ambiente. Foi possível verificar quais variáveis mais contribuíram para a variância total dos dados em cada ponto e identificar qual o fator latente que definiu cada componente principal, caracterizando a qualidade da água.

As análises preliminares asseguraram a adequação dos dados à AF/ACP. O teste de esfericidade de Bartlett, que verifica a hipótese da matriz de correlação ser uma matriz identidade, descartou a hipótese nula confirmando a existência de correlações significativas entre as variáveis em todos os pontos monitorados – Tabela 14. Outro teste utilizado foi o índice de adequabilidade da amostra - KMO que, segundo Hair *et al.* (2007), quantifica o grau de intercorrelações entre as variáveis. Este apresentou valores próximos do mínimo exigido segundo esse autor para os pontos P1, P2 e P4, contudo, permitiu as análises – Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do teste de esfericidade de Bartlett e KMO

	Esfericidade de Bartlett	KMO
P1	0,000	0,510
P2	0,000	0,511
P3	0,000	0,673
P4	0,000	0,591

5.4.1 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais na Nascente do Córrego São Pedro – P1

A Tabela 15 apresenta as correlações entre as variáveis no P1. Por meio dessa matriz foi possível obter informações sobre a dinâmica dos parâmetros no ambiente nascente. Verificou-se que as variáveis DQO e coliformes termotolerantes apresentaram correlações muito fracas com as demais, caracterizando-se como independentes. Figueiredo Filho & Silva Júnior (2010) afirmam que “caso uma variável seja estatisticamente independente, o pesquisador pode cogitar excluí-la da análise”. Segundo os autores, como a análise fatorial depende do padrão de correlação entre as variáveis observadas, espera-se que variáveis estatisticamente independentes não contribuam para a construção de um fator comum. Por esse motivo optou-se por excluí-las da AF/ACP.

Tabela 15: Matriz de correlações entre as variáveis no P1.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	CT
pH	1,00														
ST	0,14	1,00													
CE	0,46	-0,05	1,00												
Tur.	0,47	-0,01	0,04	1,00											
OD	0,10	0,22	0,36	-0,26	1,00										
OC	0,30	-0,03	0,16	0,11	-0,05	1,00									
DQO	-0,06	0,04	-0,18	-0,28	-0,03	-0,02	1,00								
DBO	0,13	0,27	-0,05	-0,14	-0,19	0,16	0,03	1,00							
NH ₄	0,21	0,17	0,29	-0,16	0,23	-0,04	0,10	0,57	1,00						
NO ₂	0,13	0,32	0,04	0,13	-0,06	0,22	0,18	0,24	0,39	1,00					
NO ₃	0,41	0,20	0,51	0,23	0,53	-0,17	-0,19	-0,29	0,30	0,04	1,00				
NT	0,39	0,15	0,68	0,15	0,47	-0,24	-0,24	-0,07	0,48	0,00	0,87	1,00			
PO ₄	-0,02	0,08	-0,04	-0,04	0,08	0,52	0,13	-0,04	0,03	0,44	0,13	-0,08	1,00		
PT	0,06	0,37	-0,10	0,11	-0,36	0,18	-0,09	0,33	0,01	0,23	-0,35	-0,23	-0,05	1,00	
CT	0,02	-0,10	0,07	-0,04	0,02	-0,09	-0,18	-0,22	-0,01	0,10	0,02	-0,03	-0,18	-0,10	1,00

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C) ; NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

A baixa correlação entre a variável CT e as demais se caracteriza como uma particularidade da nascente e demonstra que sua presença na água pode ser aleatória, possivelmente ocasionada por fezes de animais que defecam nas proximidades ao se

aproximarem para dessedentação. Quanto à DQO, não foi possível identificar motivos que justifiquem sua baixa correlação com as outras variáveis. A Tabela 16 evidencia correlações moderadas entre essas variáveis e a ocorrência de chuva.

Algumas correlações podem, simplesmente, ser fruto do acaso ou da dinâmica intrínseca do ambiente de nascente e assim não expressar uma relação de causalidade. Esperava-se que a correlação entre NO_3 e OD ($r = 0,53$) fosse negativa ou mesmo nula já que as variáveis da série nitrogênio podem causar eutrofização e propiciar aumento de populações que demandam oxigênio em seus processos respiratórios.

Tanto as correlações entre OC e PO_4 ($r = 0,52$), quanto entre $\text{DBO}_{5,20}$ e NH_4 ($r = 0,57$) podem ser justificadas pela presença de matéria orgânica na água. Para esta última, a decomposição promove aumento das concentrações de amônio através da amonificação.

Silva *et al.* (2007) afirmam que uma alta concentração de matéria orgânica em decomposição aumenta a quantidade de íons dissociados na água, que resulta no aumento da condutividade elétrica. Isso justifica o alto coeficiente de Pearson entre CE e NO_3 ($r = 0,51$) e CE e NT ($r = 0,68$) já que os processos de decomposição também liberam nutrientes, a exemplo no nitrogênio. Sendo o NO_3 , uma parte significativa do nitrogênio total, seria de se esperar o alto índice entre tais variáveis ($r = 0,87$).

Como afirmam Guedes *et al.* (2012), a segunda etapa da análise fatorial concerne à decomposição da matriz de correlação. O objetivo é identificar grupos de variáveis que mais influenciam na qualidade da água representados pelos fatores comuns e independentes (componente principal).

Tabela 16: Matriz de correlações entre as variáveis monitoradas no P1e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH_4	NO_2	NO_3	NT	PO_4	PT	CT
P1	-0,31	-0,21	-0,19	-0,14	-0,12	-0,15	0,41	-0,20	-0,18	0,08	0,06	-0,13	0,23	-0,21	0,34

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH_4 – amônio; NO_2 – nitrito; NO_3 – nitrato; NT – nitrogênio total; PO_4 – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

Embora não exista um critério consensual sobre o número de fatores que devem ser extraídos na análise, o critério de Kaiser sugere a extração dos fatores com valor de eigenvalue (autovalor) acima de um (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JÚNIOR, 2010). Já Hair *et al.* (2007) sugerem que o número de componentes que represente um percentual de

60% da variância acumulada reflete uma ideia aceitável da variância original. Respeitou-se ambas as considerações.

As cinco primeiras componentes explicaram 77,83% da variância total dos dados. A Tabela 17 apresenta a matriz não rotacionada com os pesos fatoriais de cada variável nas componentes principais (CPs). Para Guedes *et al.*(2012), as componentes expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem identificar as variáveis com maiores inter-relações em cada componente. Os valores mais elevados indicam quais as variáveis mais significativas na componente. A CP1 apresentou 25,81% da variabilidade dos dados, tendo os parâmetros da série nitrogênio, bem como pH, CE e OD como sendo os de maior destaque. A CP2 explicou 18,42% e as principais variáveis foram o OC, DBO_{5,20}, NO₂ e PT, indicando como fator comum dessas variáveis a possibilidade de terem origens orgânicas. Já a CP3 explicou 13,07% da variabilidade com destaque para Tur, OC e NH₄. A CP4 explicou 11,73% e teve o PO₄ com o maior peso. Já a CP5 explicou 8,81% e o parâmetro de maior destaque foi o ST. Houve elevada concentração da variância total explicada dos dados na CP1. Outra limitação se referiu aos parâmetros OC e NH₄ que apresentaram pesos elevados em mais de uma componente, dificultando a interpretação.

Tabela 17: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais no P1.

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
pH	0,56	0,33	0,43	-0,36	-0,16
ST	0,21	0,48	-0,28	-0,06	0,66
CE	0,74	0,01	0,13	-0,05	-0,37
Tur	0,16	0,14	0,68	-0,49	0,22
OD	0,63	-0,23	-0,23	0,40	0,12
OC	-0,06	0,52	0,53	0,36	-0,34
DBO	-0,06	0,69	-0,46	-0,19	-0,34
NH ₄	0,51	0,45	-0,52	0,01	-0,28
NO ₂	0,13	0,70	0,03	0,26	0,23
NO ₃	0,90	-0,18	0,10	0,04	0,24
NT	0,92	-0,12	-0,10	-0,14	0,02
PO ₄	0,05	0,37	0,33	0,77	0,12
PT	-0,30	0,61	-0,02	-0,37	0,20
% variância explicada	25,81	18,42	13,07	11,73	8,81
% variância acumulada	25,81	44,23	57,29	69,02	77,83

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

A rotação ortogonal da matriz de cargas fatoriais possibilitou melhor interpretação dos fatores ao redistribuir a variância explicada pelas componentes, não alterando na variância acumulada do conjunto de componentes. Comportamento semelhante foi verificado por outros autores como Helena *et al.* (2000); Andrade *et al.* (2007); Guedes *et al.* (2012) e Rocha *et al.* (2014). A aplicação do fator Varimax (FV) também minimizou o problema da alta concentração de pesos de uma mesma variável em mais de uma componente, sendo esse problema observado apenas pelo NO₂ – Tabela 18.

Assim, após tal procedimento, a FV1 explicou 24,52% da variabilidade, tendo NO₃, NT, CE, OD e PT como variáveis mais expressivas. Houve incremento nas médias durante a estação chuvosa apenas do PT, sendo que os demais parâmetros dessa componente foram diluídos e o OD deplecionado com a elevação da matéria orgânica carregada– Tabela 10. À exceção do PT, as demais variáveis apresentaram correlações forte ou moderada entre elas. A FV2, explicou 14,15% da variabilidade e teve a DBO_{5,20} e o NH₄ com maior peso, caracterizando essa componente como relativas à matéria orgânica próxima, que ainda não sofreu oxidação.

Tabela 18: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais após rotação Varimax no P1.

Variável	FV 1	FV 2	FV 3	FV 4	FV 5
NO ₃	0,90	-0,14	0,24	-0,02	0,16
NT	0,87	0,16	0,25	-0,19	0,06
CE	0,65	0,28	0,35	0,08	-0,27
OD	0,76	-0,04	-0,29	0,07	0,06
PT	-0,50	0,28	0,29	0,00	0,48
DBO	-0,25	0,86	-0,01	0,03	0,17
NH ₄	0,40	0,80	-0,07	0,04	0,15
Tur	-0,04	-0,28	0,84	-0,01	0,13
pH	0,31	0,23	0,77	0,13	-0,01
NO ₂	0,01	0,26	0,08	0,53	0,52
OC	-0,18	0,15	0,28	0,80	-0,19
PO ₄	0,09	-0,14	-0,14	0,89	0,15
ST	0,13	0,13	0,01	0,00	0,87
% variância explicada	24,52	14,15	14,01	13,66	11,49
% variância acumulada	24,52	38,67	52,68	66,34	77,83

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

A FV3 explicou 14,01% da variância e os parâmetros de maior destaque foram a turbidez e o pH. Na FV4 destacaram-se as variáveis OC, PO₄ e NO₂, com aumento de médias no período chuvoso para as duas últimas. Essa componente foi responsável pela explicação de 13,66% da variância. Por último, a FV5 teve o NO₂ e ST como variáveis de maior expressão e explicou 11,49%. As médias dessas variáveis aumentaram no período chuvoso.

Segundo Rocha *et al.* (2014), o comportamento das variáveis e sua distribuição pelas componentes permitem verificar as relações que apresentam entre si. Tais relações ocorrem devido à existência de um fator comum às variáveis. Assim, é possível atribuir um nome que caracterize cada componente, como feito por Andrade *et al.* (2007); Guedes *et al.* (2012); Helena *et al.* (2000) e Rocha *et al.* (2014).

Quanto à FV1, boa parte dos íons mensurados por meio do parâmetro CE provavelmente provém da lixiviação no subsolo, visto que há sua diluição no período chuvoso. Além disso, as correlações entre CE com o NO₃ e NT (Tabela 15) apontaram para a existência de uma fonte comum entre tais variáveis, possivelmente resultado da decomposição da matéria orgânica, como dito anteriormente.

Com as chuvas, a matéria orgânica carregada propicia crescimento de populações de organismos decompositores, demandando maiores quantidades de oxigênio dissolvido e diminuindo sua concentração na água. Isso se confirma com o aumento das médias do parâmetro DBO_{5,20}. Nesse ambiente, ao comparar os nutrientes analisados, é provável que o fósforo se apresente como um fator limitante ao crescimento de populações planctônicas, visto que a razão entre as médias do NT e suas médias foi de aproximadamente 60 vezes na seca e da ordem de 45 vezes na estação chuvosa. Esse fato justificaria as correlações positivas entre as variáveis NO₃ e NT com o OD, ou seja, o crescimento das populações e o aumento do consumo de oxigênio dissolvido estão condicionados ao aumento do fósforo. Ademais, convém dizer que a apreciação da matriz de correlações – Tabela 15 demonstrou correlação moderada negativa entre PT e NO₃ ($r = -0,35$) e correlação moderada positiva entre o PT e a DBO_{5,20} ($r = 0,33$).

A possível origem comum das variáveis observadas na FV1 não se aplica ao PT que, no entanto, caracteriza-se como uma exceção e por isso apresentou correlação negativa nessa componente. Ricklefs (2010) afirma que a acidez afeta grandemente a disponibilidade de fósforo para as plantas terrestres, onde nos solos ácidos o fósforo se liga fortemente às partículas de argila e forma compostos relativamente insolúveis com o ferro e o alumínio. Assim, seria plausível afirmar que a decomposição da matéria orgânica, com vistas para a

liberação de nutrientes e íons diversos supre a produtividade primária aumentando a fotossíntese e conseqüentemente o OD (correlação positiva NO_3 e OD). No entanto, quando os níveis de fósforo, bem como de NH_4 se elevam com as chuvas, há aumento do consumo do OD por micro-organismos saprófagos para decompor a matéria orgânica carregada. O maior volume de água então dilui o percentual de íons refletindo nas concentrações da CE, bem como de nitrato e então a produtividade diminui. Assim, esse processo de produção e consumo, resultado da eutrofização natural poderia ser considerado como fator latente às variáveis da FV1. No entanto, seriam necessários maiores estudos que envolvessem também organismos planctônicos para melhor caracterizar a dinâmica desse ambiente.

A FV2 refletiu o aporte de matéria orgânica intensificado pelo carreamento, já que as médias do íon NH_4 e da $\text{DBO}_{5,20}$ aumentaram no período chuvoso. Essa componente indica a presença de fontes próximas de matéria orgânica, uma vez que o amônio não foi assimilado e ainda não passou pelo processo de nitrificação. A decomposição da matéria orgânica com a metabolização das proteínas e a excreção dos excessos de nitrogênio pelos organismos constitui o processo de amonificação (RICKLEFS, 2010). Desse modo, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maiores serão as taxas de amonificação. Como a $\text{DBO}_{5,20}$ constitui uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica oxidável via demanda bioquímica de oxigênio, seria de se esperar as correlações entre tais parâmetros.

A FV4 também reflete parte dos fatores descritos para a FV2. Isso porque o oxigênio consumido é utilizado como indicativo da presença de matéria orgânica na água, justificando a correlação entre essa variável e o ortofosfato ($r = 0,52$) que eleva suas concentrações com as chuvas. Contudo, ainda que os dados apontem para um aumento de matéria orgânica no período chuvoso, as médias do OC diminuiriam.

O ambiente de nascente – P1 possui muitas peculiaridades, parte delas relacionadas ao solo, à vegetação dos arredores, à decomposição da matéria orgânica e a outros fatores que demandam maiores investigações e que provocam alterações nas variáveis monitoradas. Por esse motivo foram atribuídas a algumas componentes um caráter que reflete parte dessas peculiaridades. Esse fato se observa com a FV3. Esperava-se correlação inversa entre pH e turbidez como encontrado por Andrade *et al.* (2007) e Toledo & Nicolella (2002). Muitas vezes o aumento da turbidez causada pelas chuvas provoca incremento de ácidos oriundos da decomposição da matéria orgânica dos arredores e diminui o pH. A Tabela 16 sinaliza esse fato através da correlação moderada inversa entre o pH e a ocorrência de chuvas.

A variável ST, com maior destaque na FV5, obteve grande incremento de média no período chuvoso demonstrando que a pequena mata ciliar é insuficiente para proteger esse ponto, estando sujeito ao assoreamento.

Como a área da sub-bacia hidrográfica da nascente é pequena e ainda não sofreu com os problemas de contaminação por esgotos, de impermeabilização do solo por edificações, de revolvimento de terras, de práticas agrícolas não sustentáveis e dentre outros, é possível ter ideia da atuação dos processos físicos, químicos e biológicos naturais que atuam sobre a qualidade da água e de sua complexidade. As análises permitiram verificar que os efeitos do carreamento se somam a outros específicos daquele ambiente e por isso não foram identificadas muitas correlações fortes entre as variáveis e a ocorrência de chuva.

Ao que tudo indica, as fontes pontuais que interferem na qualidade da água se relacionam às condições ecológicas dos arredores, a exemplo da presença de animais que utilizam a nascente para dessedentação e por ali defecam, das características da matéria orgânica em decomposição, seja vegetal ou animal; da atuação da pequena mata ciliar sobre a manutenção da qualidade da água, etc. O oxigênio dissolvido e o pH, variáveis responsáveis pelos menores valores “ q_i ” na curva média de variação da qualidade e conseqüente diminuição do valor encontrado para o IQA, estiveram presentes entre as primeiras componentes na análise, justificando sua importância no monitoramento sistemático desse ponto. As análises demonstraram que a dinâmica dessas variáveis envolvem complexos processos de difícil explicação que atuam sobre suas concentrações.

Considerando tais ponderações e tendo em mente as condições de uso e cobertura da terra de seus arredores, pode-se afirmar que a nascente é um ponto de monitoramento que carece de estudos mais detalhados e de monitoramento sistemático para que seja possível obter informações mais claras e precisas sobre um ambiente de tamanha importância ecológica, econômica e social.

5.4.2 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais no Exutório do Córrego São Pedro – P2

Procedendo a análise fatorial/análise de componentes principais para o ponto “exutório do córrego São Pedro” e calculando-se inicialmente a matriz de correlações - Tabela 19,

verificou-se maior número de elevados coeficientes de Person ($r \geq 0,5$) em comparação com o P1. Entretanto, as variáveis pH e PO_4 demonstraram independência e por isso foram excluídas da AF/ACP.

As variáveis com maior número de correlações foram as que obtiveram maior importância na composição das componentes principais. Nesse ponto os impactos do uso e cobertura da terra, bem como as atividades antrópicas em geral atuam de maneira mais intensa que no P1. Os efeitos da drenagem de sua bacia são fortemente percebidos pelas altas correlações, que ao todo contabilizaram 10, e pelo aumento das médias de todos os parâmetros no período chuvoso, à exceção do OD e CT – Tabela 11.

Tabela 19: Matriz de correlação entre as variáveis no P2.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	CT
pH	1,00														
ST	-0,06	1,00													
CE	-0,02	0,12	1,00												
Tur	-0,08	0,62	0,19	1,00											
OD	0,14	-0,19	-0,19	-0,25	1,00										
OC	0,14	0,11	0,12	0,20	-0,35	1,00									
DQO	-0,22	0,33	0,15	0,48	-0,09	-0,01	1,00								
DBO	-0,12	-0,07	-0,04	-0,05	0,00	0,20	0,15	1,00							
NH ₄	-0,14	0,21	-0,08	0,26	0,14	0,21	0,24	0,69	1,00						
NO ₂	-0,19	0,42	0,12	0,67	-0,25	0,40	0,45	0,12	0,47	1,00					
NO ₃	-0,02	0,28	0,32	0,56	-0,28	0,45	0,27	-0,16	0,17	0,79	1,00				
NT	-0,22	0,13	0,31	0,30	-0,06	0,23	0,21	-0,01	0,32	0,49	0,70	1,00			
PO ₄	0,19	-0,14	-0,04	0,00	-0,28	0,22	0,05	0,05	0,17	0,21	0,20	0,12	1,00		
PT	-0,14	0,60	0,05	0,64	-0,40	0,00	0,30	-0,15	0,00	0,55	0,49	0,08	0,09	1,00	
CT	-0,05	0,01	-0,05	0,25	-0,05	-0,23	0,65	0,02	-0,07	-0,04	-0,10	-0,02	-0,05	0,19	1,00

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – Amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

O parâmetro limnológico com o maior número de correlações fortes foi a turbidez. Verificou-se: Tur e ST ($r = 0,62$); Tur e NO₂ ($r = 0,67$); Tur e NO₃ ($r = 0,56$) e Tur e PT ($r = 0,64$). Considerando o aumento de médias de todos esses parâmetros no período chuvoso – Tabela 11, essas correlações apresentam fortes evidências sobre a intensidade dos efeitos do escoamento superficial e seus impactos na qualidade da água desse córrego. Correlações entre ST e PT ($r = 0,60$) e entre PT e NO₂ ($r = 0,55$) também indicam efeitos da drenagem e carreamento, uma vez que apontam para uma fonte comum entre tais parâmetros evidenciando interdependência. Quanto às variáveis da série nitrogênio, eram esperados altos

coeficientes de Person entre elas, já que constituem parte do nitrogênio total e indicam seu estado de oxidação: NO₂ e NO₃ (r = 0,79) e NO₃ e NT (r = 0,7).

Assim como ocorrido no P1, também houve alto coeficiente de Pearson entre NH₄ e DBO_{5,20} (r = 0,69) indicando fonte de contaminação orgânica pontual nas proximidades, visto que a matéria ainda se encontra em seu estado reduzido e que boa parte das concentrações do íon NH₄ é resultante da amonificação. Quanto à DQO e CT (r = 0,65) indicam que o incremento de matéria oxidável e de coliformes provavelmente são originários de despejos de esgotos, haja vista que este último diminui suas médias com as chuvas.

A Tabela 20 se refere às correlações entre as variáveis e a pluviometria. Os resultados corroboraram as explicações a respeito dos efeitos do carreamento na qualidade da água, uma vez que houve forte correlação com a turbidez (r = 0,53) e moderadas com o NO₂, NO₃, PT e DQO. O coeficiente negativo com OD (r = -0,6) evidenciou o aporte de matéria orgânica alóctone com vistas para elevação do consumo do oxigênio dissolvido e diminuição do seu valor.

Tabela 20: Matriz de correlações entre as variáveis do P2 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	CT
P2	-0,14	0,24	0,20	0,53	-0,60	0,30	0,45	-0,18	-0,22	0,38	0,34	0,05	-0,02	0,38	0,23

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – Amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

Quanto à decomposição da matriz de correlação e identificação dos fatores comuns e independentes, no P2 foram extraídas 5 componentes que descreveram 79,45% da variância total dos dados – Tabela 21. Essa matriz apresentou problemas semelhantes aos descritos para a matriz não rotacionada do ponto P1. Verificou-se concentração de pesos fatoriais em mais de uma componente por parte das variáveis DBO_{5,20}, DQO, NH₄, NT e CT; além de alto percentual de variância explicada nas primeiras componentes.

Postas essas questões, serão discutidos os resultados apenas da matriz de pesos fatoriais rotacionada pelo algoritmo Varimax – Tabela 22, já que os dados se mostraram mais adequados, com melhor distribuição das variâncias e maior concentração das cargas fatoriais de cada variável em uma única componente.

Tabela 21: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais no P2.

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
ST	0,62	-0,25	0,07	-0,40	0,24
CE	0,30	0,00	-0,32	0,49	-0,27
Tur	0,83	-0,23	0,12	-0,11	0,10
OD	-0,39	0,18	0,31	0,27	0,69
OC	0,41	0,48	-0,32	-0,17	-0,41
DQO	0,57	-0,25	0,58	0,31	-0,16
DBO	0,06	0,65	0,56	-0,17	-0,32
NH ₄	0,39	0,68	0,50	-0,12	0,16
NO ₂	0,89	0,19	0,00	-0,06	0,13
NO ₃	0,82	0,12	-0,38	0,22	0,11
NT	0,57	0,32	-0,19	0,54	0,21
PT	0,68	-0,47	-0,02	-0,36	0,08
CT	0,14	-0,52	0,62	0,34	-0,29
% variância explicada	32,59	15,08	13,85	9,49	8,44
% variância acumulada	32,59	47,67	61,52	71,01	79,45

Legenda: ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

Tabela 22: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas cinco primeiras componentes principais após rotação Varimax no P2.

Variável	FV 1	FV 2	FV 3	FV 4	FV 5
ST	0,82	0,00	0,04	0,02	0,02
Tur	0,78	0,29	0,08	0,26	0,10
NO ₂	0,66	0,52	0,34	0,01	0,13
PT	0,86	0,01	-0,17	0,15	0,19
NO ₃	0,48	0,79	0,00	-0,09	0,19
NT	0,12	0,87	0,14	0,00	-0,10
CE	-0,12	0,59	-0,19	0,16	0,30
NH ₄	0,20	0,17	0,90	-0,02	-0,17
DBO	-0,16	-0,13	0,89	0,12	0,16
CT	0,05	-0,09	-0,06	0,93	-0,03
DQO	0,33	0,22	0,21	0,80	0,00
OD	-0,24	-0,02	0,11	-0,08	-0,87
OC	0,08	0,32	0,34	-0,29	0,62
% variância explicada	22,71	17,52	15,26	13,30	10,66
% variância acumulada	22,71	40,23	55,49	68,79	79,45

Legenda: ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

Assim, a FV1 explicou 22,71% da variância total e os parâmetros de maior expressão foram: ST, Tur, NO₂ e PT, todos apresentando correlações fortes entre si, havendo apenas uma correlação moderada entre NO₂ e ST. A FV2 explicou 17,52% da variância total e os maiores pesos foram para o NO₃, NT e CE, havendo correlações fortes entre os dois primeiros e moderadas entre estes e a condutividade. As variáveis NH₄ e DBO_{5,20} tiveram maior destaque na FV3 que explicou 15,26% da variância total, seguida da FV4 que explicou 13,3% e teve os parâmetros CT e DQO com maior expressividade. Por último, a FV5 explicou 10,66% e teve o OD e o OC com maior destaque – Tabela 22.

No que concerne ao fator comum entre as variáveis de cada componente, é possível perceber semelhanças entre os fatores que compõem a FV1 e a FV2. Esses se caracterizaram pelos efeitos do carreamento como latente às variáveis dessas componentes, bem como à contaminação difusa de maneira geral que se intensifica com as chuvas. Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade *et al.* (2007) e Rocha *et al.* (2014).

As variáveis que compuseram a FV1 corresponderam à realidade verificada em campo e através da carta de uso e cobertura da terra – figura 9. As condições de ausência de mata ciliar e intenso revolvimento de terras, impermeabilização e dentre outros fatores contribuíram visivelmente para o incremento da turbidez da água ao longo de todo o trabalho como é possível perceber na figura 14.

A presença do parâmetro sólidos totais (ST) na FV1 confirma a forte influência do carreamento. Contudo, houve pouco incremento de suas médias durante as chuvas. Possivelmente o pequeno lago anterior ao ponto de coleta – figura 14 tenha influenciado através da decantação de parte dos sedimentos.

A FV3 pressupõe poluição pontual próxima, devido ao estado reduzido do íon amônio, embora suas médias também tenham se elevado com as chuvas. Esse fato corrobora o verificado nas análises relativas ao ponto P1. Quanto à FV4, essa componente também se associou a fontes pontuais, já que seus parâmetros estavam fortemente correlacionados e os coliformes termotolerantes se apresentaram em menor número no período chuvoso, havendo diluição. Assim, sua origem estaria condicionada à presença de esgoto doméstico na água.



Figura 14: Elevada turbidez da água no exutório do córrego São Pedro – P2. **Fonte:** NAGEA - 20/03/2013.

Como afirmam Rocha *et al.* (2014), o OD e OC constituem variáveis complexas que refletem toda a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, dentre elas a produtividade e o consumo. Por esse motivo, a última componente – FV5 demonstrou estar ligada à dinâmica desse ambiente. As respostas do ecossistema aquático do P2 pressupõem que o aumento das cargas de materiais oxidáveis faz diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido comprometendo a biota e mesmo a adequação dessas águas aos fins a que se destinam: abastecimento.

A presente análise demonstrou consistência com os resultados encontrados pelo IQA, onde as variáveis OD, Tur e CT obtiveram os menores valores “ q_i ” na curva média de variação da qualidade do parâmetro. O intenso carreamento pode ser percebido pela presença da turbidez na primeira componente e pelas elevadas concentrações ao longo do período de análises. Esse fato caracteriza o P2 como forte contribuinte para o assoreamento da represa. Pressupõe também, condições de desrespeito às APPs com consequência para a diminuição da qualidade e quantidade das águas. Como o P2 reflete toda a dinâmica de sua sub-bacia, outros fenômenos atuam na qualidade da água. Contudo, é de se esperar que as condições à montante estejam precárias em termos de preservação e que muitas nascentes podem não mais existir

em um futuro próximo visto que ao assoreamento se manifesta fortemente, sinalizado pela turbidez e pelos sólidos totais.

5.4.3 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais no exutório do córrego Grota do Pinto – P3

O córrego Grota do Pinto foi o que apresentou maior número de correlações fortes entre as variáveis analisadas, que ao todo contabilizaram 18. Esse dado corroborou para melhoria do resultado do teste preliminar KMO – Tabela 14 de adequação da amostra à AF/ACP.

Os parâmetros limnológicos PT e NO₂ foram os que obtiveram maior número de correlações fortes com os demais – Tabela 23. Observam-se PT e Tur ($r = 0,79$); PT e OC ($r = 0,6$); PT e NH₄ ($r = 0,63$); PT e NO₂ ($r = 0,9$); PT e NO₃ ($r = 0,64$) e PT e NT ($r = 0,7$). Esses coeficientes indicam fontes comuns altamente correlatas, tendo em vista seus elevados valores. Destacam-se, assim como verificado no P2, correlações fortes entre o fósforo e o nitrito e entre essas e a turbidez. É provável que boa parte de suas concentrações estejam muito interligadas, mais que os demais parâmetros que também se correlacionaram com essas variáveis.

Também foram observados fortes coeficientes de Pearson entre as variáveis da série nitrogênio: NT e NH₄ ($r = 0,66$); NT e NO₂ ($r = 0,65$); NT e NO₃ ($r = 0,72$); NH₄ e NO₂ ($r = 0,66$); NO₃ e NO₂ ($r = 0,74$). Verificaram-se importantes coeficientes entre os nutrientes de maneira geral com o oxigênio consumido: OC e NO₂ ($r = 0,5$); OC e NT ($r = 0,53$) e entre Tur e OC ($r = 0,59$). Houve uma correlação inversa entre OC e OD ($r = -0,51$). As análises mostraram que os incrementos de nutrientes favoreceram o consumo de oxigênio devido ao aumento da matéria orgânica biodegradável e elevação das concentrações de elementos que, por ventura, sejam limitantes. Além disso, águas mais túrbidas dificultam a penetração da luz, diminuindo a zona eufótica e conseqüentemente a fotossíntese. Elevados coeficientes entre Tur e OC e entre Tur e PT, descritos anteriormente, bem como entre Tur e NO₂ ($r = 0,77$) e Tur e NO₃ ($r = 0,5$) sugeriram alta influência do carreamento e de fontes pontuais no incremento de suas médias.

Novamente houve alta correlação entre NH_4 e $\text{DBO}_{5,20}$ ($r = 0,51$) possivelmente indicando fontes pontuais próximas de matéria orgânica.

A Tabela 24 aponta as correlações das variáveis com a pluviometria. O aumento das concentrações de CT no período chuvoso é evidenciado pelo coeficiente moderado entre esse parâmetro e a ocorrência de chuvas ($r = 0,44$). Não houve nenhum coeficiente que indicasse forte correlação, dificultando a interpretação da influência das chuvas sobre a alteração das variáveis. Foram observadas correlações moderadas com a CE, DQO, NO_3 e negativa com o pH.

Tabela 23: Matriz de correlação entre as variáveis no P3.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH_4	NO_2	NO_3	NT	PO_4	PT	CT
pH	1,00														
ST	-0,19	1,00													
CE	-0,37	0,22	1,00												
Tur	-0,36	0,32	0,37	1,00											
OD	-0,06	-0,20	-0,12	-0,41	1,00										
OC	0,07	0,20	0,32	0,59	-0,51	1,00									
DQO	-0,16	-0,09	0,00	0,08	-0,01	-0,04	1,00								
DBO	-0,26	0,07	0,05	0,18	-0,24	0,18	-0,07	1,00							
NH_4	-0,17	0,32	0,30	0,37	-0,26	0,42	0,09	0,51	1,00						
NO_2	-0,35	0,41	0,48	0,77	-0,33	0,50	0,30	0,19	0,66	1,00					
NO_3	-0,01	0,27	0,35	0,50	-0,42	0,45	0,29	-0,01	0,44	0,74	1,00				
NT	-0,05	0,19	0,11	0,48	-0,40	0,53	0,15	0,07	0,66	0,65	0,72	1,00			
PO_4	-0,23	0,11	0,20	0,30	-0,11	0,23	0,07	0,36	0,18	0,18	0,24	0,08	1,00		
PT	-0,34	0,47	0,33	0,79	-0,33	0,60	0,14	0,22	0,63	0,90	0,64	0,70	0,31	1,00	
CT	-0,08	0,05	0,03	0,27	-0,30	0,14	0,01	-0,11	-0,16	0,11	-0,02	-0,01	-0,14	0,15	1,00

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH_4 – amônio; NO_2 – nitrito; NO_3 – nitrato; NT – nitrogênio total; PO_4 – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

Tabela 24: Matriz de correlações entre as variáveis do P3 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.

	pH	ST	Cond	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH_4	NO_2	NO_3	NT	PO_4	PT	CT
P3	-0,42	-0,09	0,38	0,28	-0,23	0,09	0,35	-0,13	-0,27	0,23	0,35	-0,07	-0,16	0,11	0,44

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH_4 – amônio; NO_2 – nitrito; NO_3 – nitrato; NT – nitrogênio total; PO_4 – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

No que concerne à decomposição da matriz de correlação e extração dos fatores comuns, foram obtidas 4 componentes que juntas explicaram 81,54% da variância total –

Tabela 25. A variável DQO não apresentou nenhuma correlação forte e por isso foi excluída da análise. Optou-se, todavia, por manter a variável CT, por ter tido grande importância no cálculo do IQA. O modelo se adequou e mostrou consistência no resultado da análise.

No processamento da AF/ACP foram extraídas, a partir da matriz de correlação, as comunalidades que representam o nível de associação entre a variável e os fatores extraídos, ou seja, a porcentagem da variância da variável explicada pelos fatores utilizados (TOLEDO & NICOLELLA, 2002). Valores abaixo de 0,5 indicam que a variável deve ser eliminada e a AF/ACP refeita (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JÚNIOR, 2010). Baseando-se em tais considerações e buscando um modelo mais consistente procedeu-se a eliminação das variáveis PO₄, CE e ST. A aplicação do algoritmo Varimax também se mostrou adequada ao P3 e suplantou os problemas descritos nos pontos de monitoramento anteriores antes da rotação da matriz de pesos fatoriais.

Tabela 25: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas quatro primeiras componentes principais no P3

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH	-0,27	0,53	0,66	0,23
Tur	0,81	0,09	-0,36	-0,08
OD	-0,55	-0,41	0,02	-0,54
OC	0,71	0,29	0,11	0,28
DBO	0,31	-0,61	-0,08	0,67
NH ₄	0,73	-0,43	0,28	0,16
NO ₂	0,91	-0,10	-0,08	-0,25
NO ₃	0,76	0,19	0,30	-0,27
NT	0,80	0,08	0,34	-0,14
PT	0,92	-0,06	-0,12	-0,17
CT	0,14	0,56	-0,66	0,16
% variância explicada	46,17	13,24	12,04	10,09
% variância acumulada	46,17	59,41	71,45	81,54

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

A Tabela 26 se refere à matriz rotacionada, onde se verificam melhorias na distribuição da variância explicada por cada componente e concentração dos pesos das variáveis em uma única FV.

A primeira componente – FV1 explicou 40,27% da variância total dos dados, compreendendo os parâmetros Tur, NO₂, NO₃, NH₄, NT, PT e OC como sendo os de maior expressividade. A FV2 respondeu por 14,35% da variância total e teve o OD e o CT como variáveis de destaque, sendo suas correlações negativas nessa componente. A terceira

componente – FV3 explicou 14,04% da variância e os parâmetros de maior destaque foram a DBO_{5,20} e NH₄ que se manteve em duas componentes. A FV4 explicou 12,88% e nela se destacou o pH.

A análise revelou alta concentração de variância explicada na primeira componente juntamente com um número maior de variáveis se comparada aos demais pontos. Os incrementos de médias demonstram influência das chuvas no carreamento e nos valores de coliformes fecais, que se comportou de maneira oposta ao P2.

Tabela 26: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas quatro primeiras componentes principais após rotação Varimax no P3.

Variável	FV 1	FV 2	FV 3	FV 4
Tur	0,67	0,44	0,10	0,38
OC	0,62	0,41	0,26	-0,23
NO ₂	0,87	0,11	0,12	0,35
NO ₃	0,87	0,02	-0,09	-0,10
NT	0,87	-0,01	0,10	-0,12
PT	0,85	0,19	0,16	0,33
NH ₄	0,66	-0,20	0,59	0,06
OD	-0,37	-0,63	-0,34	0,32
CT	-0,05	0,85	-0,19	0,17
DBO	0,01	0,01	0,94	0,17
pH	-0,09	-0,03	-0,16	-0,90
% variância explicada	40,27	14,35	14,04	12,88
% variância acumulada	40,27	54,62	68,66	81,54

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

Existe um grande número de granjeamentos na sub-bacia desse ponto onde há criação de animais. Esse fato justificaria o aumento dos coliformes com as chuvas, bem como o acréscimo de matéria orgânica em geral. A Tabela 5, referente aos percentuais das classes de uso e cobertura da terra na BCRSP, mostra que as áreas de pasto na sub-bacia do P3 representaram mais de 50% da área total.

No período de seca, o P3 apresentou médias muito superiores de coliformes termotolerantes se comparado ao P2. No entanto, a turbidez do córrego São Pedro foi sempre maior. Embora as chuvas também se associem à FV1, a contaminação por esgoto é evidente como sendo seu principal fator latente. Na sub-bacia do P3 o percentual da classe “área ocupada” correspondeu a cerca de 4% do total, referindo-se a edificações com residências e granjas como verificado *in loco*. Essas características são menos observáveis na sub-bacia do

P2, onde predomina o revolvimento de terras para construção de condomínios e áreas pavimentadas como a BR 040. Por esse motivo, os reflexos na qualidade da água dos dois pontos foram observados de maneira distinta.

A sub-bacia do P3 também apresentou maior percentual de matas correspondendo a 35,9% do total contra 23% referente à do P2, além do menor percentual de áreas com processo erosivo atuante – 5,3%, contra 15,6%. Estes dados corroboram com os resultados encontrados pela AF/ACP. Assim, ao passo que na bacia do córrego São Pedro a primeira componente evidencia fatores físicos de qualidade de água, no Grota do Pinto as variáveis químicas recebem maior destaque.

As correlações opostas entre o OD e o CT na FV2 evidenciaram a depleção de oxigênio no corpo hídrico pelo aumento de cargas orgânicas, sendo que boa parte dessa carga é originária de fontes relativas a excrementos devido aos coliformes presentes na água. Conclui-se que o carreamento pode ser dito como latente a essa componente pela correlação moderada entre chuva e CT ($r = 0,44$), pelo aumento das médias dos coliformes termotolerantes com as chuvas e diminuição dos níveis de OD.

A FV3 teve como fator comum a poluição orgânica próxima, sugerindo despejos pontuais de esgoto doméstico. Uma característica importante na matriz de correlações – Tabela 23 se refere ao menor índice de Pearson entre as variáveis turbidez e amônio em relação aos coeficientes entre turbidez e nitrato e turbidez e nitrito. Esse fenômeno também ocorreu no P2 e no P4 (que será apresentado posteriormente). Assim, é possível perceber de maneira mais nítida que a variável amônio está mais relacionada à poluição pontual que ao carreamento.

A variável de maior destaque na FV4 foi o pH que pode ter seus valores ligados a uma série de fatores naturais ou antrópicos, tornando difícil uma associação que possibilite afirmar qual o fator latente a essa componente.

Os resultados obtidos pela AF/ACP foram condizentes com o encontrado pelo IQA. Verificou-se que as variáveis com os menores valores “qi” na curva média de variação da qualidade do parâmetro estiveram presentes nas duas primeiras componentes. A turbidez se destacou na FV1 correlacionada positivamente com várias outras. Os coliformes fecais juntamente com o oxigênio dissolvido demonstraram que atuam de maneira intensa sobre a qualidade da água ao caracterizarem a FV2 como inerente às descargas pontuais de esgoto e os impactos sobre as águas do córrego Grota do Pinto. Essa componente demonstrou sua

importância sobre o IQA e enfatiza os efeitos de suas variáveis de destaque sobre a qualidade da água.

Embora os pontos P2 e P3 tenham semelhanças entre si com forte influência negativa dos mesmos parâmetros sobre o IQA, o OD e os coliformes com menores valores “ q_i ” no ponto P3 evidenciam a poluição pontual como sendo a principal causa da degradação das águas desse ponto. A turbidez, no entanto, mais influente no P2, deixa claro os efeitos do carreamento pelo revolvimento de terras em sua sub-bacia e pelo alto percentual de áreas com processo erosivo atuante.

5.4.4 - Resultados da análise fatorial/análise de componentes principais na Represa de São Pedro – P4

A represa de São Pedro, assim como a nascente do córrego São Pedro – P1, constitui um ambiente com muitas singularidades. Além de refletir os efeitos da drenagem de toda a área da bacia, outros fenômenos atuam sobre a dinâmica dos parâmetros limnológicos. A capacidade de autodepuração da represa por meio da decantação, da incidência de radiação solar, do maior espelho d’água e dentre outros fatores atuam sobre a melhoria da qualidade da água semelhante ao descrito por Carvalho *et al.* (2000).

A atuação desses mecanismos pode ser considerada como responsável pela maior independência dos parâmetros, havendo menor número de correlações em comparação aos pontos de exutório dos córregos – Tabela 27. Esse fato também reflete os resultados da Tabela 28, havendo poucas evidências dos efeitos das chuvas sobre os parâmetros. Verificam-se altas correlações entre as variáveis da série nitrogênio: NT e NH_4 ($r = 0,5$), NT e NO_3 ($r = 0,65$) e NO_3 e NO_2 ($r = 0,85$) como descrito nos pontos anteriores. Também possuíram elevados coeficientes de Pearson PT e NO_2 ($r = 0,56$) e PT e NO_3 ($r = 0,53$), além de Tur e NO_2 ($r = 0,57$). Esses resultados apontam o carreamento e os despejos pontuais como principais causas do aumento de suas concentrações.

Tabela 27: Matriz de correlação entre as variáveis no P4.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	CT
pH	1,00														
ST	0,05	1,00													
CE	0,26	0,25	1,00												
Tur	-0,22	0,04	0,06	1,00											
OD	0,10	0,10	-0,06	0,05	1,00										
OC	-0,32	-0,10	-0,09	0,32	0,25	1,00									
DQO	0,13	-0,05	0,25	0,03	0,16	-0,11	1,00								
DBO	-0,29	0,19	-0,16	0,33	0,36	0,31	0,00	1,00							
NH ₄	-0,08	0,08	0,30	0,34	-0,10	0,16	0,00	0,18	1,00						
NO ₂	-0,18	0,21	0,44	0,57	0,19	0,41	0,32	0,35	0,51	1,00					
NO ₃	-0,16	0,17	0,48	0,42	0,02	0,39	0,14	0,12	0,41	0,85	1,00				
NT	-0,08	-0,10	0,36	0,04	-0,42	0,13	-0,11	-0,07	0,50	0,40	0,65	1,00			
PO ₄	-0,44	0,33	-0,13	0,19	0,12	0,14	-0,12	0,22	-0,17	0,04	-0,07	-0,21	1,00		
PT	-0,31	0,23	0,23	0,42	0,18	0,40	-0,03	0,11	0,35	0,56	0,53	0,21	0,01	1,00	
CT	-0,19	-0,12	0,02	0,35	-0,11	0,40	0,15	-0,07	-0,01	0,10	0,02	-0,18	0,24	0,17	1,00

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

Tabela 28: Matriz de correlações entre as variáveis do P4 e a pluviometria de aproximadamente 24 horas que antecederam ao campo.

	pH	ST	CE	Tur	OD	OC	DQO	DBO	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NT	PO ₄	PT	CT
P4	0,25	-0,15	-0,03	0,13	-0,04	0,13	0,63	-0,17	0,03	0,31	0,13	-0,09	-0,18	-0,10	0,15

Legenda: pH – potencial hidrogeniônico; ST – sólidos totais; CE – condutividade elétrica; Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PO₄ – ortofosfato; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** as cores significam: tons mais fortes de cinza – correlações fortes; tons mais suaves de cinza – correlações moderadas.

O modelo que se apresentou mais adequado e consistente à AF/ACP permitiu a exclusão de cinco variáveis, as quais a DQO e ST mostraram-se independentes. A decantação do material particulado na represa pode ter contribuído para as baixas correlações entre a variável sólidos totais e as demais. Quanto à DQO, embora ela se correlacione fortemente com as chuvas de aproximadamente 24 horas antecedentes às coletas ($r = 0,63$) – Tabela 28, suas concentrações médias diminuíram no período chuvoso. É provável que os reflexos das chuvas sobre esse parâmetro no P4 seja momentâneo, de forma a provocar sua diluição à medida que exista continuidade nos eventos chuvosos. Esses resultados confirmam a

complexidade da dinâmica dos parâmetros na represa, cabendo maiores investigações sobre os processos que atuam ou interagem com ou sobre eles.

Quanto ao PO₄, este obteve baixa comunalidade, e por isso foi retirado da AF/ACP. Os resultados não se mostraram satisfatórios com as variáveis DBO_{5,20} e CE altamente correlacionadas a mais de uma CP mesmo depois da rotação Varimax. Na busca por um modelo que se ajustasse melhor, optou-se por excluir a CE, já que essa mesma variável foi excluída em análise semelhante realizada com dados obtidos entre 1998 e 2012 por Rocha & Costa (2015) na represa de São Pedro. Em seguida o pH apresentou baixa comunalidade e também foi excluído. Esse último modelo foi composto por três componentes que juntas explicaram 68,8% da variância total dos dados – Tabela 29. A rotação Varimax novamente possibilitou suplantar os problemas já descritos pelas matrizes não rotacionadas relativas aos pontos de monitoramento anteriores – Tabela 30.

A primeira componente após rotação Varimax – FV1 explicou 30,97% da variância e os parâmetros de destaque foram os nutrientes de maneira geral – Tabela 30. Esses parâmetros têm suas origens relacionadas a diversos fatores, onde nesse ponto parecem refletir, principalmente, o carreamento e os despejos de esgoto que juntos podem ser considerados como latentes à FV1.

Tabela 29: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas três primeiras componentes principais no P4.

Variável	CP 1	CP 2	CP 3
Tur	0,67	0,27	0,24
OD	0,12	0,71	-0,49
OC	0,59	0,39	0,22
DBO	0,38	0,49	-0,46
NH ₄	0,63	-0,34	-0,11
NO ₂	0,91	0,00	-0,13
NO ₃	0,85	-0,27	-0,08
NT	0,51	-0,76	-0,08
PT	0,71	0,10	0,08
CT	0,21	0,34	0,85
% variância explicada	36,96	18,63	13,21
% variância acumulada	36,96	55,59	68,80

Legenda: Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

Tabela 30: Matriz de pesos fatoriais das variáveis nas três primeiras componentes principais no P4 após rotação Varimax.

Variável	FV 1	FV 2	FV 3
NH ₄	0,72	0,06	0,00
NO ₂	0,78	0,35	0,33
NO ₃	0,86	0,23	0,09
NT	0,83	-0,17	-0,36
PT	0,51	0,46	0,21
CT	-0,19	0,88	-0,25
Tur	0,36	0,63	0,21
OC	0,24	0,64	0,29
DBO	0,16	0,09	0,74
OD	-0,15	0,05	0,86
% variância explicada	30,97	20,18	17,65
% variância acumulada	30,97	51,15	68,80

Legenda: Tur – turbidez; OD – oxigênio dissolvido; OC – oxigênio consumido; DBO – demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NH₄ – amônio; NO₂ – nitrito; NO₃ – nitrato; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; CT – coliformes termotolerantes. **OBS:** o grifo em tom de cinza refere-se a pesos fatoriais > 0,5.

Nota-se que os parâmetros físicos que se destacaram como relativos ao carreamento no exutório dos córregos, a exemplo da turbidez e dos sólidos totais, foram minimizados pelos efeitos da autodepuração, tendo menor influência na qualidade da água devido à decantação. Por outro lado esse fenômeno interfere grandemente na capacidade de armazenamento da represa provocando assoreamento.

A FV2 explicou 20,18% da variância e os parâmetros mais expressivos foram: CT, Tur e OC. O incremento de suas médias – Tabela 13, bem como as correlações que obtiveram entre si demonstraram que essa componente está ligada, dentre outros fenômenos, aos efeitos da drenagem da bacia de contribuição da represa. Embora não tenha havido correlações significativas entre tais parâmetros e a pluviometria das 24 horas que antecederam as coletas de campo, é possível que na represa os efeitos das chuvas demorem mais tempo para provocar alterações nas variáveis.

A última componente – FV3 explicou 17,65% da variância onde se destacaram o OD e DBO_{5,20}. Esperava-se, no entanto, correlação negativa entre eles. Como já foi dito, tais parâmetros envolvem a dinâmica de produção e consumo no ecossistema aquático e por isso o fator latente se caracteriza como intrínseco ao ambiente em questão, demandando maiores investigações sobre seus mecanismos. Além disso, não houve correlações fortes entre os parâmetros dessa componente com as chuvas. A média do OD – Tabela 13 no período chuvoso apresentou um leve aumento. Esse fato contrasta com a realidade verificada nos

pontos P2 e P3, onde os níveis desse parâmetro diminuíram no referido ciclo. Provavelmente o incremento de nutrientes age de modo a favorecer a produtividade primária, assim tanto o OD, quanto a $DBO_{5,20}$ se elevam.

Os coliformes termotolerantes, com os menores valores “ q_i ” obtidos pela curva média de variação da qualidade do parâmetro no cálculo do IQA (anexo 2), se apresentou como integrante da segunda componente, reforçando sua importância no monitoramento da qualidade das águas desse manancial.

Embora, seja necessário maiores investigações sobre os processos que envolvem a dinâmica dos parâmetros na represa, o escoamento superficial, bem como a poluição pontual originária de despejos de esgoto, novamente se manifestaram como os principais fatores latentes às componentes encontradas, confirmando os efeitos provocados pela ocupação desordenada da área. Em análise semelhante com dados referentes à captação da Represa cedidos pela CESAMA, Rocha & Costa (2015) foram enfáticos ao afirmar que as componentes principais que eles encontraram indicaram que a qualidade da água da Represa de São Pedro vem se mostrando comprometida visto que suas componentes remetem à presença de lançamento de esgotos, despejos de detergentes e carreamento de materiais provocados pelo escoamento superficial, principalmente pelo uso do solo inadequado e pela ausência ou fragmentação das matas ciliares.

5.4.5 - Considerações gerais sobre os resultados da AF/ACP nos diversos pontos amostrais

A apreciação das matrizes de correlações de todos os pontos amostrais permitiu observar como as variáveis da série nitrogênio se correlacionam entre si de modo sugerir evidências sobre parte do ciclo do nitrogênio nos ambientes amostrados. Assim, o nitrogênio em sua forma mais reduzida, o amônio - NH_4 , oriundo naturalmente por processos de fixação e ou amonificação e em algumas vezes por relâmpagos, pode ser assimilado ou passar por processos de nitrificação (RICKLEFS, 2010). Nesse último caso o amônio passa por um processo de oxidação, sendo convertido a nitrito por bactérias específicas – *Nitrosomonas* no solo e *Nitrosococcus* em sistemas marinhos. Posteriormente, um segundo grupo de bactérias *Nitrobacter* no solo e *Nitrococcus* em sistemas marinhos promoverá a oxidação do nitrito a

nitrito (RICKLEFS, 2010). Possivelmente esses foram os motivos que justificam correlações mais fortes entre nitrito e amônio e nitrito e nitrito que entre amônio e nitrito, já que tais processos ocorrem em etapas distintas por grupos específicos de bactérias. As correlações entre o amônio e a $DBO_{5,20}$ também são sugestivas do ciclo do nitrogênio, pois quanto maiores as concentrações de matéria orgânica, maiores as taxas de amonificação, fato evidenciado no exutório dos dois córregos monitorados.

Em todos os pontos amostrais, à exceção da nascente, a ausência de vegetação ripária, bem como os elevados percentuais de áreas urbanizadas e pastagens degradadas, exerceram forte influência sobre as variáveis, onde o carreamento se mostrou latente a boa parte das componentes principais encontradas. A situação se agrava, visto que o despejo de esgoto in natura nos córregos e na represa foi percebido como outro fator intrínseco a várias componentes.

Para Gregory *et al.* (1991), mais que em qualquer outro ecossistema, as estruturas e processos dos ecossistemas lóticos são determinados pela interface com os ecossistemas adjacentes e os fluxos de transferência de materiais como a água, nutrientes, sedimentos, matéria orgânica particulada e organismos não ocorrem apenas na direção rio abaixo, mas também lateralmente, ratificando a importância dos ecossistemas ripários.

Pode-se dizer que as interfaces entre manchas ambientais, e especificamente nestas linhas, entre os sistemas terra-água, possuem atributos físicos e químicos específicos, bem como propriedades bióticas e processos de fluxo de materiais e energia que são únicos em suas interações com os sistemas ecológicos adjacentes. A força destas interações, as quais variam em escalas temporais e espaciais de largura, são controladas pelo contraste entre as manchas de recursos adjacentes ou unidades ecológicas e, em geral, podem ser consideradas como sendo análogas a uma membrana semipermeável que regula os fluxos de energia e de materiais (NAIMAN & DÉCAMPS, 1997).

Similarmente às faixas de segurança de rodovias e aceiros em parques, as APPs hídricas funcionam como faixas de segurança para a qualidade da água do corpo hídrico que elas envolvem. Reduzem o impacto de fontes de poluição através do efeito “filtro”, ressaltando a retenção de sedimentos finos, matéria orgânica, produtos tóxicos e nutrientes carregados pelas precipitações (lixiviação), minimizando os processos de assoreamento do corpo d'água, evitando a erosão e estabilizando os solos marginais, sendo uma verdadeira barreira física (ROCHA & COSTA, 2015).

Perante a importância inquestionável e cientificamente comprovada das matas ripárias nos mais diversos fins, Metzger (2010) questiona quais as bases científicas do Código Florestal em vigência na época, no caso a Lei 4771/1965. Dentre os pontos de argumentação, o autor questionou a largura das APPs como dependentes de uma série de fatores, destacando o tipo de serviço ecossistêmico considerado. Ele afirmou que o conhecimento científico obtido nos últimos anos permitiu, não apenas sustentar os valores indicados na Lei, mas na realidade indicavam a necessidade de expansão para limiares mínimos de pelo menos 100 m (50 metros em cada margem), independentemente do bioma, do grupo taxonômico, do solo ou do tipo de topografia. Tais considerações tornam-se ainda mais relevantes quando se trata de um ambiente voltado para suprir uma das maiores necessidades humanas – abastecimento de água. Contudo, o atual Código Florestal, Lei Federal nº 12.651/2012 desconsiderou tais ponderações e as APPs não foram ampliadas.

5.5 - Considerações sobre a urbanização e os resultados encontrados

Os resultados obtidos permitem reafirmar que a BCRSP passa por processo de ocupação antrópica desordenada com nítidos reflexos na qualidade e quantidade de suas águas. Assim, considerando que a bacia se refere a um manancial, seria de se esperar melhores condições de preservação e fiscalização sobre o cumprimento das leis ambientais vigentes. Ao contrário, verificou-se que ela em nada difere das demais bacias em termos de preservação, havendo descaso e falta de compromisso com a fiscalização e gestão desse manancial por parte dos órgãos competentes, principalmente aqueles relacionados à garantia e prestação de serviços de saneamento básico. Questiona-se: até quando haverá continuidade dessa política colonialista que explora os recursos até seu total esgotamento ou até que se tornem impróprios aos fins que se destinam?

Sobre essa ótica, Carneiro *et al.* (2010) afirmam que há uma desarticulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso do solo, marcada pelo forte grau de informalidade e até mesmo ilegalidade na ocupação do território, fato nitidamente observado na BCRSP.

O ordenamento territorial, as políticas de planejamento e expansão urbana, bem como, a garantia do bem estar dos cidadãos, controle do uso e ocupação do solo, são de competência

municipal, assim estabelecido constitucionalmente (BRASIL, 1988); e de maneira complementar, pelo Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001).

Esse Estatuto prevê, assim como a própria Constituição Federal de 1988, o Plano Diretor como um dos instrumentos de planejamento da política urbana no nível municipal, sendo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de Juiz de Fora o instrumento básico da política municipal de desenvolvimento urbano, devendo ser o referencial de orientação para os agentes públicos e privados que atuam na produção e gestão da cidade (JUIZ DE FORA, 2000). Ele estabelece, como um de seus princípios básicos, que:

cabe ao Poder Público assegurar o direito de todos os cidadãos ao acesso e desfrute do espaço urbano, entendido como direito à moradia, serviços e infra-estrutura básica consagrados pela Constituição Federal, através da ocupação justa e racional do solo do Município (JUIZ DE FORA, 2000).

Entretanto, prevê também, como princípio básico, a viabilização da participação do setor privado na realização do Plano, enquanto agente da construção do espaço urbano, em parceria com o Poder Público (JUIZ DE FORA, 2000). É fato que os interesses do setor privado se distinguem dos interesses da coletividade, ou seja, perante a afirmativa de que o setor privado é o agente da construção do espaço urbano, o próprio PDDU assume indiretamente a falta de conformidade no cumprimento da função social da propriedade imobiliária. Haverá, então, conflito no estabelecimento dessa prerrogativa, uma vez que a cidade, na sociedade capitalista, reúne diversos interesses e por isso a ocupação do espaço urbano se dá de forma a atender essas demandas, sendo lógico que o solo urbano seja disputado por inúmeros usos (SINGER, 1979).

Sob essa ótica, o solo urbano constitui uma mercadoria muito disputada pelos agentes capitalistas que produzem a cidade. Por meio de suas ações, esses agentes controlam, orientam e dão significado ao crescimento e reestruturação do espaço urbano (BARBOSA & COSTA, 2012). Forma-se, então, uma especulação de valores sobre estes espaços de forma a reproduzir o capital e atender interesses que irão refletir na segregação espacial e social das diferentes classes sociais.

Segundo Castells (2000) essa segregação social visa, portanto, a reprodução das forças de trabalho, processos estes que são sempre interligados e articulados com a estrutura social. Assim, a cidade torna-se expressão materializada da atuação da sociedade no espaço geográfico, através de um ambiente físico construído que refletirá os interesses do capital segundo seus mecanismos de controle do uso e cobertura e ocupação do solo.

Villaça (2000) defende que a força mais poderosa, embora não a única, agindo sobre a estruturação do espaço intra-urbano tem origem na luta de classes pela apropriação diferenciada das vantagens e desvantagens do espaço construído e da segregação dela resultante, sendo essa uma condição necessária para o exercício da dominação por meio do espaço intra-urbano. Para Negri (2008) é a camada de mais alta renda que, ao consumir e valorizar de forma diferenciada o espaço urbano, produz a segregação sócio-espacial que permite à classe dominante continuar a dominar o espaço produzido segundo seus interesses. Assim, as elites podem controlar a produção e o consumo da cidade através de instrumentos como o poder político e o mercado imobiliário.

Hoje existe uma tendência à mercantilização de todas as estruturas e espaços urbanos, que remete ao consumo diferenciado desse espaço (NEGRI, 2008). O direito ao lazer transformou-se em uma mercadoria a ser comprada, e por conta do agravamento dos problemas ambientais de toda ordem, hoje se fala da natureza nos espaços urbanos como nova raridade, onde as amenidades naturais não estão (ou não podem estar) disponíveis a todos os habitantes citadinos, senão perderiam o caráter de raridades e, desse modo, não seriam fatores de valorização de determinadas localizações do espaço urbano (BARBOSA & COSTA, 2012). Isso se verifica nitidamente nos arredores da Represa de São Pedro, com o surgimento de residências e condomínios luxuosos e dificuldade de acesso para as demais classes.

Pode-se afirmar que a expansão urbana resultante da anexação de novos recortes territoriais à cidade implica numa contínua redefinição dos usos do solo e uma reestruturação urbana (BARBOSA & COSTA, 2012). Enquanto agente produtor, executor e representante, assim como o poder judiciário, da inviolabilidade do direito a propriedade privada, garantido no Caput do Art. 5º da Constituição Federal de 1988, e atuando de forma a desconsiderar a função social da propriedade privada, o Estado assume papel de grande relevo na produção do espaço urbano. Barbosa & Costa (2012) são enfáticos sobre o fato de que este é o principal provedor de infraestrutura e serviços e estabelece o marco jurídico referente à ocupação e uso do solo, interferindo de forma direta e indireta na atuação dos demais agentes, a exemplo dos incorporadores e construtores.

Sendo o espaço apenas uma condição necessária à realização de qualquer atividade, portanto, também da produção, mas não constituindo em si meio de produção, entendido como emanção do trabalho humano que o potencia (SINGER, 1979), a atuação do Estado torna-se imprescindível na concretização da ocupação segundo os interesses dominantes.

Dessa forma a cidade cresce nas direções em que os agentes capitalistas desejam, ainda que a sociedade tenha que arcar com todas as consequências.

A abordagem marxista, sobre essa temática, parte do pressuposto de que os problemas ambientais derivam do sistema social, logo as possíveis soluções precisam ser buscadas nele, não no sistema técnico ou físico-energético. Enquanto as contradições intrínsecas à forma social de produção capitalista não forem enfrentadas, as explicações permanecerão em níveis consideráveis de superficialidade (SOUZA-LIMA, 2004).

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das diversas metodologias se mostraram eficientes na descrição e discussão de processos que atuam sobre a qualidade das águas na Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro.

Ficou demonstrado, através da carta de uso e cobertura da terra da BCRSP, que existe uma tendência crescente de ocupação da bacia com vistas ao aumento das áreas com processos erosivos atuantes, bem como para a supervalorização de terras e crescente especulação imobiliária.

A comparação dos parâmetros pela Resolução CONAMA nº 357/2005 demonstrou o quanto algumas variáveis se encontram distantes das prerrogativas estabelecidas para a classe de enquadramento do Córrego São Pedro – Classe 1 pela DN COPAM nº 16/1996. Esses parâmetros traduzem os impactos que a ocupação desordenada vem causando nessa bacia.

No intuito de verificar a qualidade da água foi calculado o Índice de Qualidade das Águas – IQA pelas metodologias do IGAM adaptado e da CETESB, demonstrando maiores restrições por parte dos critérios de classificação do IGAM. Sobre as perspectivas desse órgão, as médias obtidas nos pontos de monitoramento P1 e P4 ainda foram enquadradas na categoria IQA “bom”, ao passo que nos pontos de exutório dos córregos a classe obtida foi IQA “médio”. Esse resultado demonstrou que estes pontos diferenciam-se dos restantes para pior.

A AF/ACP sugeriu o carreamento / escoamento superficial e a poluição pontual gerada por esgotos não tratados como principais fatores latentes às componentes principais obtidas, destacando variáveis que influenciaram negativamente no IQA.

Esses resultados evidenciaram a falta de políticas de planejamento e gestão das águas da bacia desse manancial, onde a urbanização avança sobre as áreas de preservação permanente e os interesses especulativos sobressaem aos interesses coletivos. Sobre essa perspectiva, a crise de gestão da água se tornou evidente com os baixos índices pluviométricos dos últimos meses e o acesso à água deixou de ser uma garantia contínua em várias regiões do Brasil, bem como em Juiz de Fora.

Percebe-se que a água vem obtendo cada vez mais um *status* de mercadoria, um simples objeto de troca e venda que tem como objetivo gerar dividendos às companhias de saneamento e aos seus acionistas ou mesmo ao Estado e ou municípios. Isso se verifica nas

formas de gestão que possuem muitas semelhanças aos regimes colonialistas de exploração. À medida que a qualidade da água vai se deteriorando e sua quantidade diminui, os atuais mananciais deixam de atender às suas demandas e torna-se necessário a busca por fontes de água cada vez mais distantes, dificultando ainda mais sua gestão.

Espera-se que essas páginas possam contribuir para a percepção da água como um bem comum a todos, que necessita urgentemente de uma gestão capaz de garantir sua qualidade e disponibilidade. Que seus valores sobressaiam àqueles meramente monetários de forma que um manancial possa ser percebido como um patrimônio essencial à vida e ao futuro das cidades, bem como da sociedade de maneira geral. Que os problemas ambientais e especificamente nestas páginas os relativos à água sejam percebidos como inerentes do sistema social e econômico de produção, sendo fundamental o questionamento de seus porquês. Espera-se também que a sociedade cobre ações que visem à defesa dos interesses públicos, e que a cidade cresça ordenadamente, visto os impactos já causados pela falta de planejamento.

7 - REFERÊNCIAS

ABRAHAO, R.; CARVALHO, M.; SILVA JUNIOR, W. R.; MACHADO, T. T. V, GADELHA, C. L. M; HERNADEZ, M. I. M. Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. **Water SA**, v. 33, pp. 459–66, 2007.

ALLAN, J. A. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. **Ground Water**, v.36, pp. 545-46, 1998.

ALBUQUERQUE, Catarina de. **Declaração oficial da Relatora Especial sobre o direito humano à água e saneamento ao finalizar a sua visita ao Brasil em dezembro de 2013**. Brasília, 19 de dezembro de 2013. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/declaracao-oficial-da-relatora-especial-sobre-o-direito-humano-a-agua-e-saneamento-ao-finalizar-a-sua-visita-ao-brasil-em-dezembro-de-2013/>>. Acesso em 25 de set. 2014.

ALMEIDA, M. Em guerra contra a Nestlé. In: **Carta capital** (online) 05 mai. 2014. Disponível em: <<http://www.cartacapital.com.br/sociedade/em-guerra-contra-a-nestle-3372.html>>. Acesso em: 11 set. 2014.

ANDRADE, E. M; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, pp.683-90, 2007.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** . 22. ed, Washington, D. C. 2012.

APRILE, F. M. & FARIAS, V. P. Avaliação da qualidade da água da bacia do Rio Goiana, Pernambuco – Brasil. **Bioikos**, v.15, pp.109-114, 2001.

BARBOSA, A. G. & COSTA, A. A. O solo urbano e a apropriação da natureza na cidade. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n.3, pp. 477-88, 2012.

BARLOW, M.; CLARKE T. **Ouro azul**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda. 2003.

BORBA, J. Após alta de 32%, Aneel prevê novo reajuste médio de 10% na energia. **Folha de São Paulo** (online) 03 mar. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/03/1597178-apos-alta-de-32-aneel-preve-novo-reajuste-medio-de-10-na-energia.shtml>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BRASIL. **Lei nº 10.257 de 10 de Julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 10 nov. 2013

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 08 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Presidência da República/ Casa Civil/ Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm> Acesso em: 10 de jul. de 2012

BRASIL. **Lei nº11.445 de 5 de Janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Presidência da República/ Casa Civil/ Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 17 set. de 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 28 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 08 out. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. C. A. Gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguazu/Sarapuá, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 1, pp. 29-49, 2010.

CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T.T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Revista Ambiente & Sociedade**, v.10, n.1, pp. 83-96, 2007.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química. Nova**, v.23, pp.618-22, 2000.

CARVALHO, A. C. B.; Miranda, F. P.; Souza, F. F. C.; Machado, P. J. O. Qualidade da água. *In*: MACHADO, P. J. O (Org.). **Diagnóstico físico-ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Pedro: um exercício acadêmico de gestão dos recursos hídricos**. Ubá: Ed. Geographica, 2010.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Water Quality Index: Technical Report. In: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 2001a. Disponível em: <<http://ceqg-91rcqe.ccme.ca/download/en/137>>. Acesso em 16 out. 2014.

CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal. **Hidrografia em Juiz de Fora**. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=hidrografia>>. Acesso em: 02 mar. 2015

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011**. Série Relatórios. Apêndice C: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 21 ago. de 2012.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo a. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011**. Série Relatórios. Apêndice D: Índice de Qualidade das Águas 2011. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 21 ago. de 2012a.

COELHO NETO, 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, 2007.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2.ed. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1988. 567 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Latossolos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em 13 mar. 2015.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: Uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, v.16, pp.160-85, 2010.

FREITAS, F. A. **Intervenção antrópica em áreas de preservação permanente: estudo de caso no distrito de Abreus, Alto Rio Doce – MG**. Monografia de conclusão do Curso de Especialização em Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2010.

FREITAS, R. C. M.; NÉLSIS, C. M.; NUNES, L.S. A crítica marxista ao desenvolvimento (in)sustentável. R. Katál. **Florianópolis**, v. 15, n. 1, pp. 41-51, jan./jun. 2012.

FRITZSONS, E.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, pp. 239-48, out./dez. 2003.

GONÇALVES, J. C. Homem-Natureza: Uma Relação Conflitante ao Longo da História. **Revista Multidisciplinar da UNIESP - Saber Acadêmico**. n. 6, pp. 171-77 dez – 2008.

Disponível em: <<http://www.uniesp.edu.br/revista/revista6/pdf/17.pdf>>. Acesso em: 04 nov.2014.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; McKEE, W. A.; CUMMINS, K. W. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, v. 41, n. 8, pp. 540-51, 1991.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, pp.558-63, 2012.

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 593p

HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. nº. 12, Delft: UNESCO-IHE, 2003. 239 p.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2013**. Resumo Executivo. Belo Horizonte: IGAM, 2014. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/qualidade_aguas/2014/resumo-executivo-2013.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2014.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

JUIZ DE FORA. **Lei nº 9.811 de 27 de junho de 2000**. Institui o plano diretor de desenvolvimento urbano de Juiz de Fora. Disponível em: <http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_norma.php?chave=0000023630>. Acesso em: 28 jan. 2013.

LUMB, A.; SHARMA, T. C; BIBEULT, J. F. A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. **Revista Water Quality, Exposure and Health**. v. 3, n. 4 pp. 11-24, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12403-011-0040-0>> Acesso em: 08 ago. 2012.

LUTTI, J. E. I. Crise de abastecimento era uma tragédia anunciada. *In: Le Monde Diplomatique Brasil*. 82. ed. São Paulo,05 mai. 2014.

MACHADO, P. J. O. **Uma proposta de zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica da Represa de São Pedro – Juiz de Fora/MG**. Dissertação de mestrado em Geografia da Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente: 1998.

MATTER, D.; TAGNIM, R.; PRATA, J. A crise é maior do que a chuva. *In: Le Monde Diplomatique Brasil*. 82. ed. São Paulo: maio de 2014.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 016, de 24 de setembro de 1996**. Dispõe sobre enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna. Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, Belo Horizonte, MG. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=113>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

NAIMAN, R. J. & DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. **Annual Review Ecological System**, v.28, pp.621-58, 1997.

NEGRI, S. M. Segregação Sócio-Espacial: Alguns Conceitos e Análises. **Coletâneas do nosso tempo**. Ano VII – v. 8, n. 8, pp. 129-153, 2008.

PORTO-GONÇALVES, C. W. Geografia política e desenvolvimento sustentável. **Terra Livre**, São Paulo, n. 11/12, pp. 9-15, 1996.

PORTO-GONÇALVES, C. W. A luta pela apropriação e reapropriação social da água na América Latina. In: FERNANDES, Bernardo Mançano (Org.). **Campesinato e agronegócio na América Latina: a questão agrária atual**. São Paulo: Expressão Popular, 2008. 432 p.

PORTO-GONÇALVES, C. W. O desafio ambiental. In: SABER, Emir (Org). **Os porquês da desordem mundial: mestres explicam a globalização**. 3. ed. Rio de Janeiro: Record, 2012.

RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. C. **Análise multivariada com o uso do SPSS**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011.

RIBEIRO, B. G. (org.). **Suma Etnológica Brasileira: Etnobiologia**. Editora Vozes: Petrópolis, 1987.

RIBEIRO, C. R. & PIZZO, H. S. Avaliação da sustentabilidade hídrica de Juiz de Fora/MG. **Mercator**, v. 10, n. 21, 2011, pp. 171-88.

RIBEIRO, F. P. O paradigma ambiental na globalização neoliberal: da condição crítica ao protagonismo de mercado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, pp. 211-26, 2012.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. Tradução: Pedro Paulo de Lima-e-Silva. Revisora técnica e coordenadora da tradução: Cecília Beno. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

ROCHA, C. H. B. & COSTA, H. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, abril/junho 2015, no prelo.

ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A; SILVA, T. M. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental** [online]. v.18, n.4, pp. 431-36, 2014.

ROSS, J. L.S.; DELL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. nº 12, p. 89-121, 1998. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/165>>. Acesso em: 06 ago. 2012

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/docume30ID-TUSBRYuXa7.pdf>>. Acesso em 05 set. 2012.

SANTOS G. O. & HERNANDEZ F. B. T. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, pp.60–68, 2013.

SINGER, P. O uso do solo urbano na economia capitalista. *In*: MARICATO, E. (Org.). **A produção capitalista da casa (e a cidade) no Brasil industrial**. São Paulo: Alfa-Omega, 1979.

SOUZA-LIMA, J. E. Economia ambiental, ecológica e marxista versus recursos naturais. **Rev. FAE**, Curitiba, v. 7, n. 1, pp.119-27, jan./jun. 2004.

TOLEDO, L. G. DE; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, pp.181-86, 2002.

TRIBUNA. Juiz de Fora terá rodízio de abastecimento de água a partir desta sexta-feira. **Tribuna de Minas**, 15 out. 2014. Disponível em: <<http://www.tribunademinas.com.br/juiz-de-fora-tera-rodizio-de-abastecimento-de-agua-a-partir-desta-sexta-feira/>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, pp. 67-75, 2010.

VALENTE, E. & CAETANO, C. Cidade alta tem situação crítica. **Tribuna de Minas**, 30 set. 2014. Disponível em: <<http://www.tribunademinas.com.br/cidade-alta-tem-situacao-critica/>>. Acesso em 10 mar. 2015.

VALENTE, E. Futuro das represas em risco: bacias de contribuição dos lagos estão vulneráveis e prejudicam a qualidade da água e a capacidade de volume armazenado. *In*: **Tribuna de Minas**, 08 mar. 2015. Disponível em: <<http://www.tribunademinas.com.br/futuro-das-represas-em-risco-cesama-admite-vulnerabilidade/>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Ecletica Química**, São Paulo, v. 22, 1997.

VELOSO, H. P. & GÓES-FILHO, L. **Fitogeologia Brasileira; classificação fisionômeco-ecológica. Ecologia da vegetação neotropical**. Boletim Técnico do Projeto RADAMBRASIL, Série Vegetação. Salvador, v.1, p. 1-80. 1982.

VILLAÇA, F. **O Espaço Intra-Urbano no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel/FAPESP, 2000.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Estudos e modelagem da qualidade da água de rios - v.7. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMF, 2007. 588p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – v 1. 3.ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMF, 2005. 452 p.

WETZEL, R. G. **Limnology –Lake and Rivers Ecosystems**. Third Edition. Academic Press – Elsevier, 2001.

ZACARIAS, R. S. Do “desenvolvimento sustentável” à economia verde: as falsas propostas do capital em época de crise. **Temporalis**, v. 1, n. 23, pp. 125-51, jan./jun. 2012.

8 - ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DA PLUVIOMETRIA DE APROXIMADAMENTE 24 HORAS QUE ANTECEDERAM AO CAMPO.

Data dos trabalhos de campo	Precipitação em mm
28/05/12	-
28/06/12	0,0
17/07/12	0,4
23/08/12	0,0
26/09/12	32,4
24/10/12	0,0
26/11/12	7,8
13/12/12	32,2
28/01/13	9,4
27/02/13	28,0
20/03/13	4,8
10/04/13	1,2
23/05/13	14,4
28/06/13	1,6
24/07/13	0,0
21/08/13	0,0
24/09/13	25,8
22/10/13	2,6
19/11/13	0,6
12/12/13	28,0
22/01/14	0,0
11/02/14	0,0
19/03/14	0,0
09/04/14	0,0

Fonte: INMET. **OBS:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

ANEXO 2

VALORES “q_i” PARA CADA PONTO AMOSTRAL PELA METODOLOGIA IGAM adaptado.

P1 – Nascente do Córrego São Pedro

	OD	CT	pH	DBO	NO ₃	PT	Tur	ST	T°
28/mai	46,1	53,0	90,9	73,0	96,2	98,0	70,8	84,1	93,0
28/jun	66,6	82,3	58,1	73,0	96,0	99,1	99,2	81,1	93,0
17/jul	82,8	100,0	29,4	101,0	95,5	98,7	89,7	81,6	93,0
23/ago	79,4	66,3	41,4	101,0	96,2	98,8	95,9	83,0	93,0
26/set	60,2	40,1	22,1	101,0	98,9	98,5	99,0	80,6	93,0
24/out	34,1	66,3	29,9	90,7	99,2	96,0	94,2	80,3	93,0
26/nov	77,0	100,0	33,6	81,4	98,0	98,4	92,7	82,8	93,0
13/dez	47,0	100,0	32,1	65,3	97,7	97,1	86,8	82,1	93,0
28/jan	54,7	100,0	26,7	73,0	97,6	98,6	83,6	81,9	93,0
27/fev	46,1	100,0	30,6	58,4	97,9	98,5	90,6	83,6	93,0
20/mar	59,9	100,0	27,1	90,7	97,3	98,5	86,5	85,3	93,0
10/abr	27,5	100,0	25,0	56,5	99,4	99,2	100,3	82,8	93,0
23/mai	64,3	100,0	39,0	61,8	99,5	97,3	99,5	82,6	93,0
28/jun	36,9	100,0	37,6	50,5	99,3	94,6	89,0	82,7	93,0
24/jul	67,9	100,0	28,7	78,8	99,6	97,8	91,1	82,4	93,0
21/ago	64,9	100,0	34,6	63,2	99,6	97,9	98,3	80,9	93,0
24/set	57,7	100,0	38,8	65,3	97,3	99,0	98,6	83,6	93,0
22/out	46,6	45,0	50,1	62,5	97,5	97,4	91,6	84,9	93,0
19/nov	31,0	100,0	47,1	81,4	98,0	96,5	72,0	83,8	93,0
12/dez	56,8	61,2	37,1	81,4	96,7	97,8	100,5	84,0	93,0
22/jan	81,0	100,0	36,0	81,4	97,4	96,2	96,9	86,8	93,0
11/fev	57,9	100,0	38,8	14,0	98,1	95,5	99,9	86,4	93,0
19/mar	57,6	82,3	37,3	17,2	98,6	97,6	91,5	83,4	93,0
9/abr	68,1	100,0	50,1	37,2	98,5	98,3	89,4	81,6	93,0
Média	57,2	87,4	38,4	69,2	97,9	97,7	92,0	83,0	93,0

Legenda: OD- oxigênio dissolvido; CT- coliformes termotolerantes; pH- potencial hidrogeniônico; DBO- demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NO₃ –nitrato; PT- fósforo total, Tur.- turbidez; ST- sólidos totais; T°- temperatura. **OBS:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

P2 - Exutório do córrego São Pedro

	OD	CT	pH	DBO	NO3	PT	Tur	ST	T°
28/mai	51,4	25,7	91,1	90,7	97,4	97,8	85,3	85,5	93,0
28/jun	56,5	37,6	76,9	90,7	98,2	98,9	81,3	86,8	93,0
17/jul	72,5	43,8	49,4	101,0	97,9	98,3	85,2	81,4	93,0
23/ago	79,6	57,7	81,5	90,7	98,3	98,0	87,8	86,2	93,0
26/set	49,7	32,3	57,0	81,4	97,7	95,7	31,6	86,7	93,0
24/out	47,8	31,5	85,3	81,4	98,1	96,9	69,6	83,8	93,0
26/nov	43,4	34,5	47,4	81,4	96,5	96,8	68,5	86,7	93,0
13/dez	23,9	33,1	92,0	58,4	95,6	95,7	32,7	86,5	93,0
28/jan	48,5	40,1	78,7	81,4	96,7	97,0	39,1	86,8	93,0
27/fev	13,2	27,2	50,8	58,4	98,3	96,3	32,4	85,9	93,0
20/mar	68,4	45,0	66,4	101,0	98,1	97,9	36,7	80,9	93,0
10/abr	71,1	36,2	73,7	58,4	98,7	97,0	37,8	86,6	93,0
23/mai	67,7	16,0	62,4	59,8	99,1	95,8	32,4	85,6	93,0
28/jun	38,3	50,4	53,6	80,5	99,5	95,0	57,6	86,5	93,0
24/jul	63,8	51,0	90,2	73,8	99,5	97,1	59,1	84,1	93,0
21/ago	66,7	56,6	83,9	54,0	99,3	97,1	73,0	85,1	93,0
24/set	46,0	36,9	54,7	68,3	95,6	96,4	36,3	85,2	93,0
22/out	72,4	24,5	69,8	60,4	95,3	94,3	5,0	82,0	93,0
19/nov	40,7	47,3	68,1	81,4	96,0	95,7	37,2	85,5	93,0
12/dez	44,2	38,3	66,4	81,4	96,2	94,0	26,6	86,0	93,0
22/jan	68,2	47,3	65,2	80,5	95,5	93,5	59,7	86,0	93,0
11/fev	51,7	43,8	54,7	14,0	98,5	97,9	71,6	85,3	93,0
19/mar	66,2	49,2	72,8	33,2	98,0	97,6	79,0	85,9	93,0
9/abr	77,1	47,3	64,4	33,2	97,6	98,1	68,8	83,4	93,0
Média	55,4	39,7	69,0	70,7	97,6	96,6	53,9	85,2	93,0

Legenda: OD- oxigênio dissolvido; CT- coliformes termotolerantes; pH- potencial hidrogeniônico; DBO- demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NO₃ –nitrato; PT- fósforo total, Tur.- turbidez; ST- sólidos totais; T°- temperatura. **OBS:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

P3 – Exutório do córrego Grota dos Pintos

	OD	CT	pH	DBO	NO₃	PT	Tur	ST	T°
28/mai	35,2	18,8	92,1	81,4	98,2	96,9	83,8	85,5	93,0
28/jun	27,5	39,2	64,4	81,4	99,0	98,4	49,8	83,2	93,0
17/jul	39,5	28,6	68,5	101,0	97,7	93,6	90,4	85,1	93,0
23/ago	69,9	53,0	85,8	101,0	98,2	97,0	91,5	84,6	93,0
26/set	36,2	41,8	34,9	65,3	96,8	93,5	39,3	86,7	93,0
24/out	19,7	24,3	91,5	69,1	97,5	96,4	72,6	84,7	93,0
26/nov	37,7	37,6	68,1	73,0	96,0	93,3	35,5	86,7	93,0
13/dez	21,8	24,0	74,2	52,2	94,7	95,2	32,5	86,6	93,0
28/jan	28,3	33,5	73,7	81,4	97,2	95,9	59,1	86,7	93,0
27/fev	26,7	9,6	65,2	73,0	98,0	95,0	44,4	86,9	93,0
20/mar	37,1	34,3	74,2	101,0	97,7	97,1	73,4	80,3	93,0
10/abr	47,4	26,6	78,7	65,3	98,6	98,0	83,9	86,0	93,0
23/mai	37,4	16,0	69,8	66,8	98,8	96,3	44,6	83,0	93,0
28/jun	46,3	29,9	70,7	47,7	99,4	97,2	92,5	86,8	93,0
24/jul	44,9	46,5	63,6	69,1	99,1	95,4	80,6	74,7	93,0
21/ago	62,8	38,3	73,3	53,4	99,0	96,5	86,7	80,9	93,0
24/set	47,8	16,0	55,8	71,4	95,5	94,4	67,3	86,8	93,0
22/out	30,1	16,0	62,8	59,8	93,2	86,2	36,0	80,2	93,0
19/nov	23,3	32,7	83,9	59,1	94,8	92,4	58,9	86,7	93,0
12/dez	40,1	32,7	80,5	77,1	92,3	94,1	60,5	86,8	93,0
22/jan	46,6	32,7	79,1	78,8	94,2	95,0	63,7	85,3	93,0
11/fev	27,5	31,2	78,7	45,1	97,7	96,1	76,8	84,1	93,0
19/mar	27,4	41,2	56,2	10,5	97,5	92,7	41,5	86,0	93,0
9/abr	27,4	43,8	67,7	40,7	95,7	95,9	77,0	86,8	93,0
Média	37,0	31,2	71,4	67,7	97,0	95,1	64,3	84,6	93,0

Legenda: OD- oxigênio dissolvido; CT- coliformes termotolerantes; pH- potencial hidrogeniônico; DBO- demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NO₃ –nitrato; PT- fósforo total, Tur.- turbidez; ST- sólidos totais; T°- temperatura. **OBS:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.

P4 – Captação da Represa de São Pedro

	OD	CT	pH	DBO	NO₃	PT	Tur	ST	T°
28/mai	68,6	49,8	76,9	81,4	97,6	98,1	94,7	86,7	93,0
28/jun	31,7	72,9	91,3	81,4	98,3	98,5	95,3	84,0	93,0
17/jul	20,7	53,0	60,4	101,0	97,5	97,3	95,5	80,9	93,0
23/ago	25,9	53,0	77,3	90,7	98,3	96,9	89,7	83,4	93,0
26/set	93,0	43,8	91,7	90,7	98,4	97,0	75,6	81,9	93,0
24/out	91,3	23,1	59,6	81,4	98,3	96,4	60,2	85,6	93,0
26/nov	84,8	42,4	56,6	73,0	96,6	92,9	61,7	86,0	93,0
13/dez	57,7	30,2	60,4	65,3	96,3	96,7	79,6	86,4	93,0
28/jan	60,6	100,0	72,8	81,4	97,4	97,2	71,8	86,5	93,0
27/fev	82,4	29,9	90,7	73,0	97,7	95,2	87,7	85,7	93,0
20/mar	72,5	53,0	86,3	101,0	97,7	97,0	60,1	85,3	93,0
10/abr	51,1	27,5	85,3	65,3	98,3	97,7	62,5	85,3	93,0
23/mai	88,7	54,2	88,2	63,2	99,1	98,1	93,7	81,9	93,0
28/jun	74,8	51,9	70,2	69,1	99,2	97,4	92,1	86,7	93,0
24/jul	74,2	59,0	73,7	76,3	99,3	95,8	90,4	77,7	93,0
21/ago	89,7	45,4	83,9	60,4	98,6	96,0	77,4	83,6	93,0
24/set	75,9	66,3	86,3	72,2	96,7	96,3	78,7	86,8	93,0
22/out	93,4	35,6	68,9	61,1	95,9	92,3	76,6	86,8	93,0
19/nov	75,9	34,5	76,9	75,4	96,2	95,7	67,1	86,0	93,0
12/dez	46,5	31,2	85,3	74,6	95,7	93,9	37,4	86,7	93,0
22/jan	89,0	53,0	81,0	73,8	94,2	95,6	68,3	86,0	93,0
11/fev	95,3	48,2	91,6	49,9	97,0	97,2	84,3	82,3	93,0
19/mar	94,3	51,0	54,4	17,2	97,2	96,4	47,0	86,7	93,0
9/abr	101,4	53,8	71,1	52,2	96,8	96,3	77,6	85,8	93,0
Média	72,5	48,5	76,7	72,1	97,4	96,3	76,0	84,8	93,0

Legenda: OD- oxigênio dissolvido; CT- coliformes termotolerantes; pH- potencial hidrogeniônico; DBO- demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C); NO₃ –nitrato; PT- fósforo total, Tur.- turbidez; ST- sólidos totais; T°- temperatura. **OBS:** as cores relativas às datas significam: rósea – período seco; azul – período chuvoso.