

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Programa de Pós - Graduação em Ecologia

Maria Magaly Heidenreich Silva Bucci

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DR. JOÃO PENIDO: METAIS,  
AGROTÓXICOS, ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE ESTADO TRÓFICO  
(JUIZ DE FORA, MG)**

Juiz de Fora  
2015

Maria Magaly Heidenreich Silva Bucci

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DR. JOÃO PENIDO: METAIS,  
AGROTÓXICOS, ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE ESTADO TRÓFICO  
(JUIZ DE FORA, MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Cappa de Oliveira

Coorientador: Francisco Eduardo da Fonseca Delgado

Juiz de Fora

2015

Heidenreich Silva Bucci, Maria Magaly .

Estudo da qualidade da água na Represa Dr. João Penido: metais, agrotóxicos, índices de qualidade da água e de estado trófico (Juiz de Fora, MG) / Maria Magaly Heidenreich Silva Bucci. -- 2015.  
163 f. : il.

Orientador: Luiz Fernando Cappa de Oliveira  
Coorientador: Francisco Eduardo da Fonseca Delgado  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2015.

1. Manancial de abastecimento. 2. Índice de Estado Trófico. 3. Índice de Qualidade da Água. 4. Metais. 5. Agrotóxicos. I. Cappa de Oliveira, Luiz Fernando , orient. II. Fonseca Delgado, Francisco Eduardo da , coorient. III. Título.

Maria Magaly Heidenreich Silva Bucci

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DR. JOÃO PENIDO: METAIS,  
AGROTÓXICOS, ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E DE ESTADO TRÓFICO  
(JUIZ DE FORA, MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Aprovada em 29 de julho de 2015.

---

Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

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

---

Dr<sup>a</sup> Valéria de Fátima Malta  
Prefeitura de Juiz de Fora

---

Dr. Fillipe Tamiozzo Pereira Torres  
Prefeitura de Ubá

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Cappa de Oliveira  
Orientador – Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Francisco Eduardo da Fonseca Delgado  
Coorientador – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais –  
Campus Muzambinho

**Represa Dr. João Penido (outubro, 2012)**



**Fonte:** o autor

**Represa Dr. João Penido (outubro, 2014)**



**Fonte:** o autor

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS, que é o grande merecedor de toda honra e toda a glória, e permitiu que eu pudesse realizar este grande sonho!

Dedico também à minha família, que está sempre presente e alegrando minha vida, em especial, às minhas filhas Thaís e Rafaela e à minha mãe Marina.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a **DEUS**, que me fortaleceu em todos os momentos, abrindo caminhos e me fazendo alcançar a vitória. Agradeço em especial aos meus amigos e familiares que contribuíram para que este trabalho fosse realizado de alguma forma, em especial:

Ao meu orientador e amigo Luiz Fernando, que esteve sempre ao meu lado, dando todas as condições para que este trabalho fosse feito da melhor forma possível.

Ao meu coorientador e amigo Francisco Eduardo, que tanto contribuiu na interpretação dos resultados e análise estatística dos dados obtidos.

Aos meus grandes amigos da Polícia Ambiental que me acompanharam de barco em todas as campanhas, com total apoio, zelo e dedicação, sem o qual essa pesquisa não poderia ser realizada.

À Votorantim Metais unidade Juiz de Fora, que patrocinou as análises de metais e agrotóxicos, em especial aos amigos Lúcio e Aline, que deram todo o suporte na logística e no transporte das amostras ao laboratório Bioagri.

À Fabiana do Laboratório Acqualab Monitoramento Ambiental, que, incondicionalmente esteve ao meu lado em todas as campanhas, ajudando nas coletas, análises e medições de campo.

Aos colegas do PGECOL, em especial, ao Gladson, que contribuiu na realização das análises de clorofila *a* e nutrientes, e à minha grande amiga Kátia Rotmeister, que contribuiu fazendo mapas temáticos com muito carinho e dedicação, além de ajudar a imprimir todo o texto desta tese, com presteza e prontidão.

Às Professoras Míriam Aparecida de Oliveira Pinto e Martha Eunice de Bessa, do Laboratório de Análise de Águas e Alimentos da Faculdade de Farmácia e Bioquímica, que contribuíram na realização das análises de coliformes.

Aos componentes da banca Prof. Dr. Celso Bandeira, Prof. Dr. Pedro Machado, Dr. Fillipe Tamiozzo e Dr<sup>a</sup> Valéria Malta, pela honra que nos deram em aceitar o convite e pelas contribuições feitas.

Aos amigos da CESAMA, em especial ao Francisco Vicente de Oliveira Netto e ao Paulo Valverde, pelas contribuições ao longo deste trabalho.

Ao amigo Dr. Maurício Hoffmann dos Santos, pelo empenho em me ajudar a descobrir as razões de algumas correlações negativas encontradas nos resultados da análise estatística.

Aos meus colegas de trabalho da Secretaria de Meio Ambiente, em especial ao amigo Sérgio, na identificação das mudas nativas da Mata Atlântica e às amigas Bárbara e Daniela, por terem contribuído para que os mapas ficassem com a melhor apresentação possível; às minhas queridas Gigi e Thamara, por me auxiliarem em tudo o que precisei ao final deste trabalho; à Alzira, por estar sempre ao meu lado em todas as lutas e dificuldades; a todos os meus amigos e colegas de trabalho do Departamento de Fiscalização Ambiental, que acompanharam toda a minha luta e esforço dedicados à minha vida acadêmica e profissional.

Aos meus amigos Fabrício, Valéria e Carol da Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG) da Prefeitura de Juiz de Fora, antiga Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico (SPDE), pela atenção e cuidado dedicados ao locar os pontos na ortofoto da represa, pela elaboração dos mapas temáticos, mostrando-se sempre disponíveis todas as vezes que precisei de ajuda.

Ao meu amigo Mike, por trazer alegria e bênçãos para minha vida, de uma forma muito especial preparada por Deus.

À minha linda família, que participou comigo das minhas lutas, dificuldades, alegrias e tristezas, em especial:

Às minhas filhas, Thaís e Rafaela, que são tudo para mim, a razão da minha existência.

Ao meu pai Geraldo, que me ajudou a construir os primeiros passos do “saber acadêmico”.

À minha mãe, Marina, por estar presente em todos os momentos, sendo luz na minha caminhada.

À minha irmã Ana Paula e meu cunhado Gustavo, e aos meus queridos sobrinhos Juninho e Ana Luíza, pessoas que eu tanto amo.

Às minhas tias Zélia e Marli, que eu amo e são tão importantes na minha vida.

Ao meu saudoso e querido “Tibebeto” (*in memoriam*), tio que eu tanto amava, mas não pode saborear comigo esta vitória conquistada com tanta luta. Vai deixar a saudade e o amor marcados em nossas vidas para sempre...

*“Os rios que eu encontro  
vão seguindo comigo.  
Rios são de água pouca,  
em que a água sempre está por um fio.  
Cortados no verão  
que faz secar todos os rios.  
Rios todos com nome  
e que abraço como amigos” (...).*

(João Cabral de Melo Neto)

## RESUMO

A Represa Dr. João Penido é o principal manancial de abastecimento humano de Juiz de Fora (MG). O ecossistema aquático vem sofrendo com o mau uso e ocupação das terras de sua bacia hidrográfica. A abundância de macrófitas em vários pontos do espelho d'água e nas regiões dos tributários indica processos de eutrofização. Os objetivos deste trabalho foram calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET), investigar a presença de metais e agrotóxicos em cinco pontos de coleta na represa. Foram realizadas 4 amostragens para caracterizar o período seco e 4 para o chuvoso, no período entre 2011 e 2013. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (PT), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrogênio total (NT), sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cor, turbidez, condutividade, clorofila *a*, coliformes totais e coliformes termotolerantes; os metais investigados nas formas total e dissolvida foram: Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn, Mn, Fe, Na, K e Ca; os agrotóxicos foram aqueles definidos nas Portarias MS/GM 518/2004 e MS/GM 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Houve predominância do IET “Mesotrófico” em todo o período observado e IQA “Bom” no período seco e “Médio” no chuvoso. A presença de metais na água é baixa, com exceção do Fe dissolvido que apresentou desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) em 27,5 %, de um total de 40 amostras analisadas. O Zn total extrapolou os limites legais em apenas uma amostra do ponto P2. Não foi constatada a presença de agrotóxicos no manancial, apesar das áreas de cultivo existentes na região. Espera-se que os estudos aqui apresentados possam contribuir para a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, possibilitando uma gestão integrada da bacia da represa, de forma a garantir a quantidade e qualidade da água oferecida para a população.

Palavras chave: Manancial de abastecimento. Índice de Estado Trófico. Índice de Qualidade da Água. Metais. Agrotóxicos. Qualidade da água. Estado trófico. Gestão Integrada.

## ABSTRACT

Dr. João Penido Reservoir is the main human supply source of Juiz de Fora (MG). The aquatic ecosystem has suffered from the bad use and occupation of the lands of their watershed. The abundance of macrophytes at various points of the water surface and in the tributaries regions indicates eutrophication processes. The objectives of this study were to calculate the Water Quality Index (WQI) and Trophic State Index (TSI), to investigate the presence of metals and agrotoxics in five sampling points in the dam. 4 samples were collected to characterize the dry period and 4 for rainy, between 2011 and 2013. The physical-chemical and microbiological parameters analyzed were: temperature, pH, dissolved oxygen (DO), total phosphorus (TP), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), total nitrogen (TN), total solids (TS), biochemical oxygen demand (BOD), color, turbidity, conductivity, chlorophyll *a*, total coliforms and thermotolerant coliforms; the metals investigated in the total and dissolved forms were: Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn, Mn, Fe, Na, K and Ca; agrotoxics were those defined in Ordinances MS / GM 518/2004 and MS / GM 2914/2011 of the Ministry of Health. There was a predominance of the TSI "Mesotrophic" throughout the observed period and WQI "Good" in the dry season and "Medium" in rainy. The presence of metals in water is low, with the exception of dissolved Fe that had disagreement with CONAMA Resolution 357/2005 (BRAZIL, 2005) in 27.5% of a total of 40 of the samples. The total Zn has extrapolated the legal limits in just a sample of the P2 point. There was no presence of agrotoxics in the reservoir, despite the existing growing areas in the region. It is expected that the studies presented here may contribute to the implementation of the National Water Resources, enabling integrated management of the reservoir basin, to ensure the quantity and quality water offered to the population.

Keywords: Supply water source. Trophic State Index. Water Quality Index. Metals. Agrotoxics. Water quality. Trophic state. Integrated Management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Fotografia 1 -</b>	Fotografia capturada do barco, durante uma campanha de coleta em frente ao Clube Náutico (bairro Tabaporanga), mostrando o espelho d'água da represa, próximo ao ponto P2 deste estudo (Outubro, 2012) .....	<b>22</b>
<b>Fotografia 2 -</b>	Fotografia capturada do Clube Náutico no bairro Tabaporanga, onde o nível d'água desapareceu na região próxima ao ponto P2 (Outubro, 2014).....	<b>22</b>
<b>Fotografia 3 -</b>	Fotografia capturada do Clube Náutico no bairro Tabaporanga, onde o ambiente aquático foi transformado em terrestre; a vegetação cresceu sobre o leito da represa na mesma região próxima ao ponto P2 apresentada nas fotografias 1 e 2 (Junho, 2015).....	<b>23</b>
<b>Fotografia 4 -</b>	Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando a região próxima ao ponto P1, onde existia espelho d'água com muitas macrófitas, formando uma extensa área brejosa ao fundo (Outubro, 2012).....	<b>24</b>
<b>Fotografia 5 -</b>	Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando a região próxima ao ponto P1, onde o espelho d'água desapareceu (Outubro, 2014).....	<b>24</b>
<b>Fotografia 6 -</b>	Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando claramente a transformação do ambiente aquático em terrestre; a vegetação cresceu sobre o leito da represa na mesma região próxima ao ponto P1 apresentada nas fotografias 4 e 5 (Junho, 2015).....	<b>25</b>
<b>Fotografia 7 -</b>	Área de cultivo de aproximadamente 11 hectares na área da bacia da represa (Abril, 2011) .....	<b>28</b>
<b>Quadro 1 -</b>	Importância biológica de alguns metais investigados neste estudo.....	<b>41</b>
<b>Mapa 1 -</b>	Localização da Represa Dr. João Penido na Bacia Hidrográfica Ribeirão dos Burros, inserida no município de Juiz de Fora (Minas Gerais, Brasil).....	<b>61</b>
<b>Fotografia 8 -</b>	Ortofoto do voo aerofotogramétrico datada de 2007, indicando os cinco pontos de amostragem na Represa Dr. João Penido.....	<b>69</b>

<b>Quadro 2 -</b>	Parâmetros analisados e suas respectivas metodologias.....	<b>73</b>
<b>Gráfico 1 -</b>	Qualidade das Águas em Minas Gerais.....	<b>92</b>
<b>Figura 1 -</b>	Mineração de dados apresentando as associações estatísticas significativas e correlações entre metais e parâmetros físico-químicos e microbiológicos ( $p < 0,05$ ).....	<b>97</b>
<b>Fotografia 9 -</b>	Córrego Grama, próximo à sua foz na Represa Dr. João Penido. Observar que a sua margem direita era toda coberta por macrófitas, formando extensa área brejosa (Junho, 2010).....	<b>103</b>
<b>Fotografia 10 -</b>	Córrego Grama, próximo à sua foz na Represa Dr. João Penido. Observar que a área brejosa foi transformada em espelho d'água, sem as macrófitas (Agosto, 2012).....	<b>104</b>
<b>Fotografia 11 -</b>	A área brejosa coberta pelas macrófitas mostrada na fotografia 9 foi transformada, podendo inclusive ser percorrida de barco (Agosto, 2012) .....	<b>104</b>
<b>Fotografia 12 -</b>	Resíduos constituídos por macrófitas e sedimentos que foram retirados do espelho d'água da represa pela CESAMA, e depositados à margem da via de acesso à ETA, aguardando disposição final (Agosto, 2012) .....	<b>105</b>
<b>Fotografia 13 -</b>	Imagem de satélite mostrando a diminuição de volume d'água da represa, especialmente na região fluvial dos pontos P1 e P2.....	<b>106</b>
<b>Fotografia 14 -</b>	Acesso à área de recarga hídrica do Ribeirão dos Burros, onde se localizam as nascentes visitadas (Fevereiro, 2015).....	<b>108</b>
<b>Fotografias 15 -</b>	Áreas de nascentes utilizadas para pastagem, destacando topos de morro com poucas áreas florestadas (Fevereiro, 2015).....	<b>108</b>
<b>Fotografia 16 -</b>	Área próxima às nascentes desprovida de área florestada, com vegetação rasteira composta basicamente por gramíneas (Fevereiro, 2015).....	<b>108</b>
<b>Fotografia 17 -</b>	Área de surgência degradada pelo pisoteio do gado e topos de morro com poucas áreas florestadas (Fevereiro, 2015).....	<b>108</b>
<b>Fotografia 18 -</b>	Imagem de satélite mostrando as 4 nascentes visitadas do Ribeirão dos Burros e a região da sua foz na Represa Dr. João Penido, (Fevereiro, 2015).....	<b>109</b>

<b>Fotografia 19 -</b>	Imagem de satélite mostrando as 4 nascentes visitadas do Ribeirão dos Burros, focando mais a área de recarga e a ausência de áreas florestadas (Fevereiro, 2015).....	<b>109</b>
<b>Fotografias 20 e 21 -</b>	Espécies nativas do Bioma Mata Atlântica em processo frágil de regeneração natural, prejudicadas pelo pisoteio do gado.....	<b>110</b>
<b>Fotografias 22 e 23 -</b>	Nascentes com pouca água emergindo do solo (Fevereiro, 2015).....	<b>110</b>
<b>Fotografias 24 e 25 -</b>	Pequenas lagoas cobertas por macrófitas, formadas à jusante das nascentes. As áreas do entorno são desprovidas de vegetação arbórea e utilizadas para pastagem (Fevereiro, 2015).....	<b>111</b>
<b>Fotografia 26 -</b>	Obras da rodovia em andamento, próximas ao Ribeirão dos Burros (Julho, 2015).....	<b>112</b>
<b>Fotografia 27 -</b>	Entulho das obras da rodovia sendo dispostos inadequadamente às margens do Ribeirão dos Burros (Fevereiro, 2015).....	<b>113</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Abundância dos metais investigados neste estudo na crosta terrestre.....	<b>38</b>
<b>Tabela 2 -</b>	Características morfométricas da Represa Dr. João Penido.....	<b>67</b>
<b>Tabela 3 -</b>	Localização, altitude e profundidade aproximada dos pontos de amostragem.....	<b>70</b>
<b>Tabela 4 -</b>	Parâmetros analisados e laboratórios responsáveis.....	<b>72</b>
<b>Tabela 5 -</b>	Equipamentos utilizados nas medições.....	<b>74</b>
<b>Tabela 6 -</b>	Condições operacionais do sistema (ICP-MS) .....	<b>75</b>
<b>Tabela 7 -</b>	Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises de metais presentes nas águas da Represa Dr. João Penido (mg/L).....	<b>76</b>
<b>Tabela 8 -</b>	Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises dos agrotóxicos citados na Portaria MS/GM 518/2004 (revogada em 12/12/2011), nas águas da Represa Dr. João Penido (1 <sup>a</sup> a 3 <sup>a</sup> campanhas) (µg/L).....	<b>78</b>
<b>Tabela 9 -</b>	Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises dos agrotóxicos citados na Portaria MS/GM 2914/2011 (BRASIL, 2011), nas águas da Represa Dr. João Penido (4 <sup>a</sup> a 8 <sup>a</sup> campanhas) (µg/L).....	<b>79</b>
<b>Tabela 10 -</b>	Classificação do estado trófico para reservatórios .....	<b>81</b>
<b>Tabela 11 -</b>	Categoria do estado trófico e ponderação/classes do IET .....	<b>81</b>
<b>Tabela 12 -</b>	Pesos referentes a cada parâmetro analisado no cálculo do IQA ...	<b>82</b>
<b>Tabela 13 -</b>	Nível de qualidade da água e respectivas faixas de IQA.....	<b>82</b>
<b>Tabela 14 -</b>	Nível de qualidade da água e faixas de variação do IQA utilizadas nos estados brasileiros de acordo com a ANA.....	<b>91</b>
<b>Tabela 15 -</b>	Parâmetros que apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as estações seca e chuvosa nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido .....	<b>101</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Área de Preservação Permanente

CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

DDT – Diclorodifeniltricloroetano

DER – Departamento de Estradas e Rodagem

DICLA – Divisão de Credenciamento de Laboratórios

EPA – Environmental Protection Agency

EPRJP – Estação Pluviométrica da Represa Dr. João Penido

ETA – Estação de Tratamento de Água

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

GC – Cromatografia Gasosa

ICP – Inductively Coupled Plasma

IET – Índice de Estado Trófico

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IQA – Índice de Qualidade da Água

LQ – Limites de Quantificação

MS – Espectrometria de Massa

NIT – Norma INMETRO Técnica

ppm – partes por milhão

ppb – partes por bilhão

SCQA – Sistema de Cálculo da Qualidade da Água

UFC – Unidades Formadoras de Colônia

URC/ZM – Unidade Regional Colegiada Zona da Mata

USEPA – United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1 RIOS E RESERVATÓRIOS NO PANORAMA MUNDIAL.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	26
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	31
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	32
3.1 A QUALIDADE DA ÁGUA.....	32
<b>3.1.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)</b> .....	33
<b>3.1.2 Índice de Estado trófico (IET)</b> .....	34
<b>3.1.3 Metais</b> .....	37
3.1.3.1 O uso das terminologias “elementos-traço”, “metais-traço” e “metais pesados”.....	37
3.1.3.2 A presença de metais nos ambientes.....	38
3.1.3.3 Efeitos dos metais pesquisados nos organismos (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Na, K e Ca).....	40
<b>3.1.4 Agrotóxicos</b> .....	54
3.1.4.1 Introdução e aspectos legais.....	54
3.1.4.2 Características e efeitos dos agrotóxicos nos organismos.....	55
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	60
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	60
<b>4.1.1 Município de Juiz de Fora</b> .....	60
<b>4.1.2 Represa Dr. João Penido</b> .....	67
<b>4.1.3 Pontos de amostragem</b> .....	67
4.2 METODOLOGIA.....	70
<b>4.2.1 Procedimentos de coleta</b> .....	70
<b>4.2.2 Metodologia de análise</b> .....	71
<b>4.2.3 Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)</b> .....	79
<b>4.2.4 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)</b> .....	81
<b>4.2.5 Análise estatística dos dados</b> .....	83
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	85
5.1 METAIS.....	85

<b>5.1.1 Comparação dos resultados obtidos com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).....</b>	<b>85</b>
<b>5.1.2 Comparação dos resultados de metais obtidos neste estudo com os reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela CETESB.....</b>	<b>86</b>
<b>5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET).....</b>	<b>87</b>
<b>5.2.1 Índice de Qualidade da Água (IQA).....</b>	<b>87</b>
<b>5.2.2 Índice de Estado Trófico (IET).....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.3 Comparação dos resultados de IQA e IET obtidos neste estudo com os corpos d'água monitorados nos estados de Minas Gerais (IGAM) e São Paulo (CETESB).....</b>	<b>90</b>
5.2.3.1 IQA.....	90
5.2.3.2 IET.....	92
<b>5.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS.....</b>	<b>93</b>
<b>5.3.1 Comparação dos resultados obtidos neste estudo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).....</b>	<b>94</b>
<b>5.3.2 Comparação dos resultados obtidos neste estudo com os reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela CETESB.....</b>	<b>95</b>
<b>5.4 AGROTÓXICOS.....</b>	<b>96</b>
<b>5.4.1 Comparação dos resultados obtidos referentes a agrotóxicos com as Portarias MS/GM 518/2004 e MS/GM 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004; 2011).....</b>	<b>96</b>
<b>5.5 CORRELAÇÃO ENTRE METAIS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>96</b>
<b>5.6 INFLUÊNCIA DA ESTAÇÃO SECA E CHUVOSA NOS PARÂMETROS ESTUDADOS.....</b>	<b>101</b>
<b>5.7 SITUAÇÃO DE ALGUMAS NASCENTES DO RIBEIRÃO DOS BURROS, PRINCIPAL TRIBUTÁRIO DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO.....</b>	<b>107</b>
<b>5.8 A RODOVIA QUE LIGA O AEROPORTO REGIONAL DA ZONA DA MATA AO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA</b>	<b>111</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>118</b>
<b>GLOSSÁRIO DE TERMOS GEOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS.....</b>	<b>131</b>

APÊNDICES.....	135
ANEXOS.....	150

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 RIOS E RESERVATÓRIOS NO PANORAMA MUNDIAL

Em todo o mundo, o rio é visto como veículo utilizado para absorver o excesso de água presente nas áreas adjacentes, receber efluentes e resíduos urbanos, gerar eletricidade, servir como fonte de abastecimento de água, dentre outros usos. Historicamente, as áreas urbanas foram localizadas ao longo dos cursos d'água, devido à importância da rede fluvial como rota de transporte para o comércio e viagens.

Os lagos artificiais fazem parte da história da humanidade desde os tempos mais antigos, porém, a maioria dos reservatórios foram construídos durante o século passado. No sentido mais amplo, lagos, pântanos e reservatórios podem ser considerados sistemas de “água parada”, que em termos científicos, são chamados de sistemas “lênticos”. Águas que fluem como os rios, são conhecidos como sistemas “lóticos”. Em geral, a bacia do lago pode ser caracterizada como um sistema híbrido de águas lênticas e lóticas (ESTEVEZ, 1998; ILEC, 2007; KIMMEL; LIND; PAULSON, 1990).

Lagos e reservatórios são ambientes vulneráveis e vem se deteriorando de uma forma geral em todo o mundo. Suas bacias hidrográficas são facilmente impactadas pelo uso da terra e possuem relações complexas com o ambiente aquático. O sistema lacustre recebe água, sedimentos, contaminantes, nutrientes e biota proveniente dos rios, do escoamento superficial, das águas subterrâneas e da atmosfera. Devido às suas características únicas, são muito mais vulneráveis às pressões e tensões sofridas no ambiente, sendo assim mais difíceis de gerir, em comparação aos sistemas fluviais (ILEC, 2007).

Esses ecossistemas possuem muitos valores e usos importantes, contribuindo para o desenvolvimento e bem-estar humanos em geral. São úteis para o abastecimento de água, além de servir como habitats para espécies de diversas formas de vida aquática, sustentando a biodiversidade da Terra. Eles protegem as áreas à jusante contra inundações e secas, e servem como sumidouros de sedimentos e contaminantes. São muitas vezes os centros de meios de subsistência para os pequenos pescadores locais, funcionando como base para operações de pesca. São importantes rotas de transporte para pessoas e produtos (ILEC, 2007) e úteis também na obtenção de energia elétrica, irrigação, recreação e aquicultura (SOARES *et al.*, 2008).

Todos os lagos naturais ou artificiais são submetidos a várias transformações através do tempo, devido a processos naturais de envelhecimento causado por condições climáticas,

hidrológicas e mudanças nos ecossistemas. No entanto, os maiores impactos que causam deterioração em lagos e reservatórios são as intervenções humanas. O crescimento da população e a industrialização podem levar a pressões crescentes em toda a bacia do reservatório, havendo a tendência geral de degradação destes ambientes em todo o mundo (ESTEVES, 1998; ILEC, 2007). Outro problema oriundo desta situação e que merece destaque é a crescente escassez de água doce, que constitui um dos maiores problemas da civilização no século XXI (SIMONOVIC, 2002).

Um bom exemplo da interferência antropogênica nestes ambientes é o excesso de nutrientes que causa a eutrofização dos corpos d'água, atingindo-os através de sua área de drenagem e da atmosfera (ILEC, 2007). Podem ser oriundos de lançamentos de efluentes domésticos, escoamento superficial de áreas agrícolas, dentre outros. É de aceitação geral que a eutrofização representa a principal causa de deterioração de ambientes lacustres, e que o fósforo é o principal agente causador deste processo (BERNARDI; GIUSSANI, 2001; ESTEVES, 1998).

Reservatórios também são atingidos por diversos tipos de poluentes e contaminantes como metais e agrotóxicos, oriundos de diversas fontes. Os processos limnológicos de circulação, estratificação e mistura que ocorrem na coluna d'água são importantes na distribuição das substâncias no reservatório, sendo complexa a associação com as fontes de origem, sem um estudo mais aprofundado (JACKSON, 1992).

No entanto, os problemas mais frequentemente mencionados têm origem dentro de sua própria bacia hidrográfica, através da entrada de sedimentos. É relevante destacar a importância da gestão integrada dos recursos hídricos como forma de proteção dos ambientes aquáticos (BRASIL, 1997; ILEC, 2007).

A degradação destes ambientes aquáticos é notável em todo o mundo e a consequência se manifesta através da falta de água para abastecimento em várias regiões do planeta, inclusive no Brasil. As interferências antropogênicas e insustentáveis têm provocado sensível redução na quantidade e qualidade da água oferecida às populações. Geralmente, o que se observa é a falta de gerenciamento destes sistemas hídricos, provocando sérias consequências ambientais, sociais e econômicas.

Um bom exemplo é o que vem acontecendo na Represa Dr. João Penido, que quando foi construída em 1934, possuía um volume de 16.000.000 m<sup>3</sup> de água (CESAMA, 2011). A falta de uma gestão compartilhada e eficiente, além do mau uso e ocupação do solo vem degradando a mesma desde a década de 1930. Na última batimetria realizada em 1985, foi constatado um volume de aproximadamente 14.094.000 m<sup>3</sup> (LEME, 1985).

Em outubro de 2014, foi observada uma situação crítica de degradação na represa: houve redução drástica do volume hídrico, sendo que a água desapareceu em diversas regiões do reservatório, principalmente na zona fluvial. Este cenário foi provocado por um conjunto de fatores, dentre os quais, o mau uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica ao longo de várias décadas, a falta de proteção das áreas de nascentes e de seus afluentes, desmatamentos, além da pouca pluviosidade registrada em 2014, fato que agravou a situação. De acordo com a Estação Pluviométrica da Represa Dr. João Penido (EPRJP), choveu 990,2 mm em 2014, valor abaixo da média dos últimos 7 anos registrada na EPRJP (2007-2013), que foi 1.419,67 mm<sup>1</sup>. A pluviosidade foi baixa em toda a região sudeste, tornando crítica e insustentável a situação de muitos mananciais brasileiros, o que foi amplamente divulgado pela mídia<sup>2</sup>, comprometendo o abastecimento de água em várias regiões. Se não forem adotadas políticas

<sup>1</sup> De acordo com os dados da Subsecretaria de Defesa Civil da Prefeitura de Juiz de Fora, choveu no período de 1960 a 2009 (série histórica de 50 anos) uma média de 1.504,80 mm no município (JUIZ DE FORA, 2015a).

<sup>2</sup> Algumas notícias acerca da situação dos reservatórios da região sudeste do país observada em 2014 (AGEVAP, 2015):

**Principal reservatório do Rio Paraíba do Sul tem menos de 0,5%**

Bom Dia Brasil - <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2015/01/principal-reservatorio-do-rio-paraiba-do-sul-tem-menos-de-05-de.html>

**Nível da bacia do Rio Paraíba do Sul é um dos mais baixos da história**

Band - <http://noticias.band.uol.com.br/jornaldorio/video/2015/01/21/15348334/nivel-da-bacia-do-rio-paraiba-do-sul-e-um-dos-mais-baixos-da-historia.html>

**Reservatório Paraibuna, no Paraíba do Sul, começa a usar reserva técnica**

ANA - [http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=12649](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12649)

**ANA e DAEE fixam restrições para captações nos rios Jaguari, Camanducaia e Atibaia, em São Paulo**

ANA - [http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=12648](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12648)

**Mais de 30% das indústrias fluminenses enfrentam problemas de escassez de água**

CBN - <http://www.cbnfoz.com.br/editorial/brasil/22012015-235299-mais-de-30-das-industrias-fluminenses-enfrentam-problemas-de-escassez-de-agua>

**Principal reservatório do Paraíba do Sul, Paraibuna chega ao volume morto pela primeira vez**

O Globo - <http://oglobo.globo.com/rio/principal-reservatorio-do-paraiba-do-sul-paraibuna-chega-ao-volume-morto-pela-primeira-vez-15122054>

**22 Maior reservatório de água do RJ atinge volume morto, diz ONS**

G1 - <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/01/maior-reservatorio-de-agua-do-rj-atinge-volume-morto-diz-ons.html>

**Principal reservatório de água que abastece o Rio atinge volume morto**

Folha de São Paulo - <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/01/1578736-principal-reservatorio-de-agua-do-rio-atinge-volume-morto.shtml>

**Rio sem água: estado corre o risco de viver os mesmos problemas de SP, alerta especialista**

O Globo - <http://oglobo.globo.com/rio/rio-sem-agua-estado-corre-risco-de-viver-os-mesmos-problemas-de-sp-alerta-especialista-15116813>

**Secretário estadual do Ambiente admite que existe um plano de racionamento de água para o Rio**

O Globo - <http://oglobo.globo.com/rio/secretario-estadual-do-ambiente-admite-que-existe-um-plano-de-acionamento-de-agua-para-rio-15128365>

**Sem chuvas, Rio só terá água até o fim de 2015 e precisará de cinco anos para se recuperar da seca**

O Globo - <http://oglobo.globo.com/rio/sem-chuvas-rio-so-tera-agua-ate-fim-de-2015-precisara-de-cinco-anos-para-se-recuperar-da-seca-15128112>

**Com represa no volume morto, RJ precisa de obras urgentes para evitar falta de água**

R7 - <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/com-represa-no-volume-morto-rj-precisa-de-obras-urgentes-para-evitar-falta-de-agua-23012015>

públicas que visem à preservação e conservação dos recursos hídricos, a situação tende a se tornar cada vez pior com o aumento da demanda por água potável e degradação das áreas das bacias hidrográficas dos cursos d'água brasileiros.

Von Sperling (1996) já afirmava sobre o desaparecimento gradual de um lago ou reservatório. Em decorrência da eutrofização e do assoreamento, ocorre o acúmulo de sedimentos e de vegetação no meio e o ambiente aquático vai se tornando cada vez mais raso, até vir a desaparecer. A paisagem vai se modificando, ocorrendo a transformação do ambiente aquático em terrestre. Esta tendência de desaparecimento de lagos, com a formação de brejos ou áreas pantanosas, é irreversível e usualmente lenta. Com a interferência do homem, o processo pode se acelerar abruptamente. Caso não haja um controle na fonte e/ou dragagem do material sedimentado, o corpo d'água pode desaparecer relativamente rápido, fato que pôde ser observado em 2014 na Represa Dr. João Penido, e que foi agravado pela pouca pluviosidade registrada naquele ano.

As fotografias 2, 3, 5 e 6 (2014 e 2015) mostram em parte, o cenário de degradação do manancial. As fotografias 1 e 4 (2012) mostram os mesmos ambientes, antes do panorama da crise hídrica observada em 2014. As áreas atingidas correspondem aos pontos de amostragem P1 e P2 deste estudo, que possuíam profundidade aproximada de 3,5 metros (medidos em campo, durante as campanhas no período compreendido entre 2011-2013). Pode-se observar claramente através das fotografias 1 a 6 a transformação do ambiente aquático em terrestre.

**Fotografia 1** - Fotografia capturada do barco, durante uma campanha de coleta em frente ao Clube Náutico (bairro Tabaporanga), mostrando o espelho d'água da represa, próximo ao ponto P2 deste estudo (Outubro, 2012).



**Fonte:** o autor

**Fotografia 2** - Fotografia capturada do Clube Náutico no bairro Tabaporanga, onde o nível d'água desapareceu na região próxima ao ponto P2 (Outubro, 2014).



**Fonte:** o autor.

**Fotografia 3** - Fotografia capturada do Clube Náutico no bairro Tabaporanga, onde o ambiente aquático foi transformado em terrestre; a vegetação cresceu sobre o leito da represa na mesma região próxima ao ponto P2 apresentada nas fotografias 1 e 2 (Junho, 2015).



**Fonte:** o autor.

Esta é a região do braço da represa (ponto P2) formado pela foz do Ribeirão dos Burros. Dentre outros fatores, destacam-se os processos de sedimentação e assoreamento do reservatório, que foram tornando o ambiente mais raso até desaparecer o espelho d'água. O efeito foi evidenciado pela pouca pluviosidade registrada em 2014.

Perensin (1998) realizou um estudo que abordou a evolução do processo de assoreamento da represa, concluindo que deveria haver maior controle de sedimentos e processos erosivos em sua bacia hidrográfica. Consta em seu trabalho:

ROCHA em recente entrevista ao jornal Tribuna de Minas (30 de setembro de 1997, página 2 – Caderno Cidade), faz severas considerações sobre o risco de degradação deste manancial: *“A Represa Dr. João Penido corre o risco de ter seus recursos escassos, num futuro não muito distante”*(PERENSIN, 1998, p.22).

Nota-se que em 1997 já havia a previsão de escassez de recursos hídricos do manancial, tendo em vista a degradação já observada àquela época.

A situação observada na região do braço da represa (ponto P1) formado pela foz do Córrego Grama não é diferente, conforme mostram as fotografias 4, 5 e 6.

**Fotografia 4** - Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando a região próxima ao ponto P1, onde existia espelho d'água com muitas macrófitas, formando uma extensa área brejosa ao fundo (Outubro, 2012).



**Fonte:** o autor.

**Fotografia 5:** Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando a região próxima ao ponto P1, onde o espelho d'água desapareceu (Outubro, 2014).



**Fonte:** o autor.

**Fotografia 6** – Fotografia capturada do bairro Tabaporanga, mostrando claramente a transformação do ambiente aquático em terrestre; a vegetação cresceu sobre o leito da represa na mesma região próxima ao ponto P1 apresentada nas fotografias 4 e 5 (Junho, 2015).



**Fonte:** o autor.

Entre outubro de 2014 e junho de 2015 houve o rápido crescimento de vegetação no leito da represa nas duas regiões (P1 e P2) (fotografias 3 e 6), pois os sedimentos são ricos em nutrientes e matéria orgânica. Esta situação pode ser irreversível, caso não sejam tomadas medidas urgentes e drásticas para restauração do ambiente aquático da Represa Dr. João Penido e de seus afluentes.

É oportuno destacar uma das conclusões do trabalho de Bucci (2011):

Deve-se adotar medidas mitigadoras que visem proteger os córregos e represa do deflúvio superficial. As ações devem contemplar a redução do aporte de carga orgânica e sedimentos para a água, bem como a contenção da erosão e assoreamento dos corpos hídricos. Além de outras medidas, deve-se promover o plantio de espécies adequadas nas faixas de segurança sanitária do manancial. A recomposição da mata ciliar será fundamental para minimizar os impactos provocados pelas águas pluviais e a degradação ambiental dos ecossistemas aquáticos (BUCCI, 2011, p. 144).

Provavelmente o comprometimento e a escassez dos recursos hídricos poderiam ter sido evitados, se medidas técnicas adequadas tivessem sido adotadas em tempo.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

Seguindo a tendência mundial, os mananciais para abastecimento público no Brasil têm apresentado uma progressiva deterioração da qualidade de suas águas. Este fato já pode ser observado claramente, conforme descrito na introdução desta tese, abrangendo não só a qualidade, mas também a quantidade de água existente nos reservatórios. Os diversos problemas envolvendo recursos hídricos que têm sido observados nos últimos anos, levaram a uma crescente preocupação da comunidade científica com a contaminação da água, principalmente quando o uso é para consumo humano (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001; MENEZES; HELLER, 2005; VEIGA *et al.*, 2006; YABE; OLIVEIRA, 1998).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), 47% dos municípios brasileiros utilizam somente fontes superficiais para abastecimento de água potável (ANA, 2010). No entanto, há falta de estudos científicos e monitoramento destes sistemas, tendo em vista sua importância no panorama atual dos recursos hídricos de nosso país. Outra questão relevante é a carência de informações a respeito de pequenas bacias hidrográficas, como é o caso da Bacia da Represa Dr. João Penido, situada no município de Juiz de Fora (MG). Alguns trabalhos foram desenvolvidos na represa (PEREIRA, 1991; PERENSIN, 1998; ROCHA; BRANCO, 1986), mas Bucci (2011) realizou o primeiro estudo científico sobre a qualidade hídrica do manancial (BUCCI, 2011; BUCCI; OLIVEIRA, 2014).

As obras de construção do reservatório terminaram em 1934, no governo do Prefeito Menelick de Carvalho (CARVALHO, 1940) e partes desta história estão descritas na obra de Bucci (2011). Desde então, o manancial vem sofrendo processos de degradação, apesar de estar protegido por leis municipais, estaduais e federais<sup>3</sup>. O crescimento urbano não planejado e desordenado de Juiz de Fora, juntamente com a especulação imobiliária vem trazendo sérios problemas socioambientais para a bacia do manancial. A expansão territorial e demográfica tem levado a população a se deslocar para áreas menos favorecidas ou inadequadas, como é o caso da bacia do manancial, que não possui infraestrutura urbana de água e esgoto. A região apresenta fragilidade ambiental, o que agrava a situação. As ocupações irregulares no entorno da represa referem-se tanto à população com maior poder aquisitivo, como a de baixa renda. Observam-se às suas margens diversas residências ocupando Áreas de Preservação Permanente (APP), que deveriam ser conservadas, por terem proteção legal. Esta realidade do

---

<sup>3</sup> Legislação municipal: Leis n<sup>o</sup>s: 1.431/1961; 6.087/1981; 7.255/1987; 9.811/2000; 11.817/2009; Decretos n<sup>o</sup>s: 11.641/2013; 12.274/2015 (JUIZ DE FORA, 1961; 1981; 1987; 2000; 2009; 2013; 2015b).  
Legislação estadual: Leis n<sup>o</sup>s: 10.793/1992; 13.199/1999 (MINAS GERAIS, 1992; 1999).  
Legislação federal: Decreto n<sup>o</sup> 87.561/1982; Lei n<sup>o</sup> 9.433/1997 (BRASIL, 1982; 1997).

manancial vem causando grande preocupação, uma vez que o mesmo já foi responsável por 65 % do abastecimento público de água potável da cidade (JUIZ DE FORA, 2004). De acordo com informações da CESAMA, em outubro de 2014 esta capacidade caiu para 28% (CARVALHO; BRUM, 2014).

Diante do exposto e, considerando a ausência de dados históricos e publicações científicas sobre a qualidade hídrica da referida represa, Bucci (2011) destacou a relevância de aprofundar os conhecimentos e continuar o monitoramento da qualidade hídrica da represa. Uma das conclusões deste estudo aponta que as formas de uso e ocupação do solo na região de sua bacia hidrográfica não têm sido adequadas, principalmente por se tratar de águas para abastecimento público. Esta é mais uma razão para se manter a vigilância sobre a qualidade da água oferecida à população.

Seguindo esta diretriz, o presente trabalho foi estruturado dando continuidade aos estudos feitos por Bucci (2011), como a avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET). Buscou-se também novos dados científicos sobre este ecossistema através da pesquisa de metais e agrotóxicos nas águas da represa.

Existem na bacia hidrográfica do manancial áreas de cultivo de frutas, legumes e hortaliças (fotografia 7), além de pequenas propriedades que praticam a agricultura de subsistência. Portanto, o manancial pode estar sendo contaminado por metais e outras substâncias provenientes da utilização de fertilizantes e agrotóxicos. Este problema também foi apontado pela Prefeitura para esta região do município: “Outro fator preocupante é a contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos, devido à presença de culturas diversas e por coliformes fecais<sup>4</sup>, face à criação extensiva de animais” (JUIZ DE FORA, 2004, p. 41).

---

<sup>4</sup> Coliforme fecais é a denominação antiga de coliformes termotolerantes.

**Fotografia 7** - Área de cultivo de aproximadamente 11 hectares na área da bacia da represa (Abril, 2011).



**Fonte:** o autor.

Devido à relevância do problema da contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos aplicados em culturas agrícolas, estudos nesses ambientes são necessários para prever impactos ambientais, bem como os níveis e as formas de contaminação. É necessário desenvolver técnicas de manejo que minimizem a utilização dos agrotóxicos, visando estabelecer sistemas de produção sustentáveis. Além disso, avaliar a qualidade dos mananciais de áreas menos industrializadas ou com populações menores é de extrema importância, tanto para determinar áreas potencialmente afetadas por poluição difusa, quanto para determinar níveis de referência para estas áreas, criando um banco de dados para futuros estudos na região.

Apesar do risco potencial associado à presença de agrotóxicos nos ambientes, o seu monitoramento nas águas ainda é uma prática pouco aplicada no Brasil. Conjuntamente, existe uma deficiência de informações relacionadas com o uso destes produtos nas regiões brasileiras, inclusive no estado de Minas Gerais.

Bucci (2011) identificou em seu estudo uma rede clandestina de esgotos domésticos na região de recarga da represa, em seu principal tributário denominado Ribeirão dos Burros. Sabe-se que estes efluentes constituem fontes importantes para a entrada de metais em corpos d'água (JACKSON, 1992), além de outros resíduos e microrganismos patogênicos. Considerando que não há rede de esgotos na região, devem existir outros lançamentos

irregulares contaminando o manancial, enfatizando a necessidade de investigação sobre metais na água.

No entanto, é difícil trabalhar com a contaminação ambiental por metais devido à biogeoquímica complexa desses elementos nos ecossistemas aquáticos. Mas para preservá-los contra a poluição antropogênica é preciso conhecer e monitorar os níveis de concentração destes elementos nos ambientes (FÖRSTNER; WITTMANN, 1983).

O estudo do comportamento de metais em sistemas aquáticos tem recebido considerável atenção durante as últimas décadas. A constatação de que as atividades humanas tiveram um impacto significativo sobre a ciclagem mundial desses elementos levou ao aumento dos esforços para compreender o seu transporte e destino nos ambientes (SHACAT *et al.*, 2004). Sabe-se que as condições naturais e/ou ações antrópicas influenciam a distribuição e concentração de elementos químicos nos sistemas naturais (CARMO; BOAVENTURA; OLIVEIRA, 2005). Estudos constataram que a presença de metais como níquel, cromo, cobre, ferro, alumínio, manganês, cálcio, magnésio, potássio e zinco em sistemas fluviais, têm como possível origem, a ocupação do solo através da urbanização ou agricultura (ADEFEMI; AWOKUNMI, 2010; SOUZA; TUNDISI, 2000; YABE; OLIVEIRA, 1998).

Os ecossistemas aquáticos também são depositários de outros resíduos indesejáveis, como compostos orgânicos provenientes do uso de agrotóxicos em áreas de cultivo. Veiga *et al.* (2006) afirmam que as inovações tecnológicas criaram produtos cada vez mais tóxicos, persistentes e eficientes, que aumentaram e prolongaram ainda mais seu potencial nocivo no ambiente. Existem ainda muitas controvérsias em relação aos efeitos destas substâncias para o ser humano, principalmente quando consumidas em doses baixas ao longo de toda uma vida. Isso mostra a necessidade de se desenvolver estudos sobre a presença destes subprodutos no ambiente e seus efeitos sobre a saúde (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001).

O surgimento destas novas tecnologias nem sempre foi acompanhado de estudos científicos que abordassem os efeitos adversos do uso de compostos organoclorados sobre o meio ambiente e a saúde humana. Por este motivo, houve uma crescente preocupação dos profissionais de saúde pública com a contaminação dos recursos hídricos, principalmente devido ao aumento do uso destes produtos nos últimos anos (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001; VEIGA *et al.*, 2006). Sua presença nos mananciais de abastecimento pode trazer dificuldades para o tratamento da água em virtude da eventual necessidade de tecnologias mais complexas do que aquelas normalmente usadas para a potabilização. Nesse

contexto, a água para consumo humano pode ser uma importante forma de exposição e riscos para a saúde (NETO; SARCINELLI, 2009).

Os organismos aquáticos tendem a acumular contaminantes orgânicos e metais em seus tecidos, mesmo quando a água possui níveis desses compostos abaixo da concentração máxima tolerada pela legislação. Por isso, há grandes riscos de contaminação dentro da cadeia trófica, podendo comprometer todo o ecossistema em vários aspectos, inclusive o homem.

Considerando que não há estudos referentes à possível contaminação hídrica da Represa Dr. João Penido por estas substâncias, e que a população “atingida” é em torno de 336.620 habitantes (65% do total de 517.872, de acordo com o último censo realizado) (IBGE, 2010), esta pesquisa tornou-se ainda mais relevante. A saúde e o bem-estar humanos, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração das águas (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008). Portanto, é necessário mensurar a poluição para que se possa estabelecer metas de controle em prol da melhoria da qualidade das águas do manancial e, conseqüentemente, da qualidade de vida da população.

Nesse sentido, programas de monitoramento podem fornecer importantes informações sobre a extensão do grau de poluição no ambiente e seus prováveis impactos, gerando dados sobre a deterioração ou melhoria da qualidade hídrica numa escala temporal. É o primeiro passo para se conhecer o funcionamento destes ecossistemas e a partir daí, subsidiar a gestão integrada de mananciais e desenvolver técnicas de preservação da qualidade e quantidade da água oferecida à população.

## 2 OBJETIVOS

As diretrizes deste trabalho foram delineadas, observando-se o princípio de que a água é uma excelente indicadora da saúde ambiental e sanitária de uma bacia hidrográfica. Considerando que o único estudo científico realizado na Represa Dr. João Penido apontou a necessidade de continuar e aprofundar os estudos sobre o manancial (BUCCI, 2011), foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- 1) Monitorar parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água da represa, verificando se os resultados atendem ao preconizado na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), referentes a águas doces, “classe 1”. Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (PT), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrogênio total (NT), sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cor, turbidez, condutividade, clorofila *a*, coliformes totais e coliformes termotolerantes.
- 2) Calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) para cada ponto amostral.
- 3) Calcular o Índice de Estado Trófico (IET) para cada ponto amostral.
- 4) Investigar a presença de onze metais nas formas total e dissolvida nas águas da represa: cobre, cromo, cádmio, chumbo, níquel, zinco, manganês, ferro, sódio, potássio e cálcio.
- 5) Investigar a presença de compostos orgânicos na água, provenientes da utilização de agrotóxicos na bacia da represa, tomando-se por base os parâmetros estabelecidos nas Portarias MS/GM 518/2004<sup>5</sup> e MS/GM 2.914/2011 (BRASIL, 2004; 2011).
- 6) Verificar se existe diferença significativa entre os resultados encontrados para as estações seca e chuvosa.

---

<sup>5</sup> Quando este trabalho começou a ser realizado, estava em vigor a Portaria MS/GM 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Em dezembro de 2011 ela foi revogada e substituída pela Portaria MS/GM 2.914/2011 (BRASIL, 2011). A partir daí, foram considerados os novos parâmetros relativos a agrotóxicos da nova portaria.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 A QUALIDADE DA ÁGUA

A intensificação das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica promove diversas possibilidades de contaminação, poluição e alterações na qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis. Os mecanismos de ciclagem natural da água, bem como de outros materiais, têm sido perturbados pelas interferências antropogênicas e muitos ecossistemas têm se tornado mais pobres e muitos deles, sendo destruídos inteiramente.

Deve-se observar que existe uma série de substâncias químicas presentes naturalmente nas águas superficiais, que variam conforme o tipo de rocha e solo pelo qual a água se infiltra ou sobre a qual ela flui (WHO, 2011). Souza e Tundisi (2000) acrescentam que sua composição química é controlada por uma série de fatores naturais, tais como o clima, vegetação e topografia da região, dentre outros. Estes pesquisadores realizaram um estudo comparativo nas bacias hidrográficas dos rios Jaú e Jacaré-Guaçu (estado de São Paulo), e concluíram que as diferenças nas composições químicas da água foram relacionadas com diferenças na formação geológica dos terrenos, tipos de solos, formas de uso e ocupação da terra e impactos antrópicos existentes nas regiões em estudo (SOUZA; TUNDISI, 2000).

Para o público leigo em geral, a qualidade da água pode ser verificada pela sua clareza e transparência. Com relação aos ambientes lacustres, os limnologistas afirmam que, além destes fatores, o incremento de temperatura e luz devem ser observados, pois provocam o crescimento de algas, e conseqüentemente deterioram a qualidade da água do sistema. As concentrações de clorofila *a*, nutrientes e índices de oxigênio também devem ser considerados. Estas variáveis, dentre outras, são dependentes das características do lago ou reservatório, como a morfometria e hidrologia. Além disso, as atividades humanas, quase sempre presentes, também interferem na qualidade destes corpos hídricos (NÜRNBERG, 2001).

A crescente industrialização e o incremento pela demanda de água e recursos naturais que acompanharam a humanidade ao longo do tempo provocaram vários tipos de contaminação e poluição dos ecossistemas aquáticos. Muitos elementos químicos e seus compostos, que existiam naturalmente nos ambientes em pequenas quantidades, tiveram suas concentrações elevadas em várias regiões do planeta.

Por isso, a qualidade e quantidade da água tem sido objeto de preocupação crescente e diversos estudos têm sido realizados em todo o mundo, visando o conhecimento técnico para

o planejamento de ações preventivas de proteção à população e ao meio em que se inserem. Neste sentido, diversas técnicas e metodologias têm sido desenvolvidas no sentido de mensurar a poluição aquática e suas implicações para o ambiente e a saúde pública.

### 3.1.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

O Índice da Qualidade da Água (IQA) tem sido uma ferramenta amplamente utilizada, que mostra de forma simples e facilmente compreendida pelas pessoas, o nível de poluição dos recursos hídricos (BENETTI; BIDONE, 2001). O IQA foi criado em 1970 nos Estados Unidos pela *National Sanitation Foundation*. A partir de 1975 começou a ser utilizado no Brasil pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país (ANA, 2009). O IQA abordado neste estudo baseia-se no “Projeto Águas de Minas”, da rede de monitoramento do Estado de Minas Gerais, cujos resultados são divulgados à população através de relatórios periódicos, via internet.

O IQA reflete a contaminação das águas em decorrência da matéria orgânica e fecal, bem como sólidos e nutrientes. Em Minas Gerais, o índice sumariza os resultados de 9 parâmetros (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais). Os valores variam entre 0 e 100 e os níveis de qualidade da água e suas respectivas faixas são: excelente ( $90 < \text{IQA} \leq 100$ ); bom ( $70 < \text{IQA} \leq 90$ ); médio ( $50 < \text{IQA} \leq 70$ ); ruim ( $25 < \text{IQA} \leq 50$ ); muito ruim ( $0 \leq \text{IQA} \leq 25$ ) (MINAS GERAIS, 2005; 2013).

No estado de São Paulo, a classificação é um pouco diferente: ótima ( $79 < \text{IQA} \leq 100$ ); boa ( $51 < \text{IQA} \leq 79$ ); regular ( $36 < \text{IQA} \leq 51$ ); ruim ( $19 < \text{IQA} \leq 36$ ); péssima ( $\text{IQA} \leq 19$ ). Os 9 parâmetros para o cálculo do IQA no estado paulista são os mesmos definidos para Minas Gerais, diferindo apenas quanto a utilização das concentrações de nitrogênio total e fósforo total, e não o nitrato e fosfato (CETESB, 2013b).

Avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações sobre a qualidade e quantidade da água é fundamental e tem previsão legal, conforme preconiza a Lei Federal 9.433/1997, em seus artigos 25, 26 e 27 (BRASIL, 1997), mas nem todos os estados brasileiros têm condições de fazê-lo. De acordo com a ANA (2009), a avaliação da qualidade das águas superficiais em um país de dimensões continentais como o Brasil é dificultada pela heterogeneidade das redes de monitoramento existentes, como número de parâmetros analisados, frequência de coletas, métodos de análise, dentre outros. Os elevados custos da

logística envolvida e a ausência de pessoal capacitado para a tarefa resultam em verdadeiros vazios na rede de monitoramento brasileira. Muitos laboratórios de análise não possuem certificações em programas de acreditação ou não realizam a intercalibração laboratorial, que são fundamentais para ampliar a confiança nos resultados das análises. Além disso, em alguns laboratórios estão instalados equipamentos de última geração que, no entanto, não dispõem de pessoal capacitado para operá-los adequadamente (ANA, 2009).

Todavia, é preciso disponibilizar não somente os dados, mas também as avaliações relativas aos dados, de forma a transformá-los em informações que podem ser utilizadas pela sociedade, cobrando dos agentes públicos a gestão adequada dos recursos hídricos (ANA, 2009).

Vale ressaltar que o IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da **água bruta**, que após o tratamento, é destinada ao abastecimento público. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de efluentes domésticos. Esta avaliação apresenta algumas limitações, já que não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (metais, agrotóxicos, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2009).

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas são fatores primordiais para a gestão integrada, permitindo a caracterização e a análise de tendências em suas bacias hidrográficas. São essenciais para o enquadramento dos cursos d'água, bem como a cobrança e a outorga dos recursos hídricos (ANA, 2009).

### **3.1.2 Índice de Estado Trófico (IET)**

Eutrofização é o processo de enriquecimento dos corpos d'água com nutrientes, normalmente nitrogênio e fósforo, trazendo efeitos sobre a qualidade da água e comprometendo as funções biológicas do ecossistema aquático. Representa o processo de envelhecimento dos lagos, em que fontes alóctones de nutrientes e matéria orgânica se acumulam na bacia de drenagem, e sendo lançados continuamente no corpo d'água, diminui gradualmente a sua profundidade e aumenta a produção autóctone. Desta forma, o lago começa a assumir lentamente características de pântano/brejo e, finalmente, de ecossistema terrestre (RAST; THORNTON, 1996).

Em condições naturais, este processo geralmente ocorre ao longo do tempo geológico, sendo uma consequência natural de envelhecimento do ecossistema lacustre. No entanto, as

interferências humanas em uma bacia de drenagem podem acelerá-lo, diminuindo rapidamente a vida útil de corpos d'água, às vezes dentro de algumas décadas apenas. Este último processo, denominado eutrofização cultural é um dos sintomas de desequilíbrio induzidos pelo homem nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, como nitrogênio e fósforo (RAST; THORNTON, 1996). Como consequência, resulta no estímulo de uma série de mudanças sintomáticas indesejáveis, como o aumento da produção de algas e macrófitas e deterioração da qualidade hídrica, interferindo nos vários usos da água. Alguns destes efeitos já são percebidos na Represa Dr. João Penido, conforme mostra o cenário observado em 2014 nas fotografias 2, 3, 5 e 6, no item 1.1 desta tese, agravado pela pouca pluviosidade.

Alguns autores como Nürnberg (2001) e Soares *et al.* (2008) afirmam que os múltiplos usos da água de um reservatório também influenciam o estado trófico do mesmo. Assim, a navegação, o trânsito de embarcações e lançamento de resíduos no corpo hídrico, dentre outros, aumentam a concentração de nutrientes afetando negativamente a qualidade da água. Pode-se afirmar que o aumento das interferências antropogênicas nas bacias hidrográficas tem acelerado a eutrofização de corpos d'água, e este processo está intimamente relacionado com os diversos usos da água.

Neste sentido, Soares *et al.* (2008) realizaram um estudo comparativo em dois reservatórios tropicais brasileiros, localizados na região sudeste. O Reservatório Funil caracteriza-se por receber resíduos e efluentes do Rio Paraíba do Sul, seu maior tributário, e localiza-se em uma das áreas mais populosas do país. Em contraste, o Reservatório Lages situa-se em área preservada de floresta tropical. Estes pesquisadores concluíram ao final dos trabalhos que as diferenças nas características de suas bacias hidrográficas e o tempo de retenção da água nos sistemas são responsáveis pelas diferenças limnológicas observadas, e também influenciam diretamente no estado trófico dos reservatórios.

Hutchinson (1969 apud RAST; THORNTON, 1996) cita que Weber foi o primeiro a usar os termos “Eutrófico” e “Oligotrófico” para descrever as condições gerais de nutrientes dos solos nos pântanos da Alemanha. Em 1919, Naumann introduziu estes termos nas ciências aquáticas no século XX. Ele usou o termo “eutrófico” para lagos contendo muitas algas planctônicas e que estavam associados a regiões férteis de várzea, e “oligotrófico”, para aqueles com poucas algas (RAST; THORNTON, 1996).

Considerável debate ocorreu no final dos anos 1960 e início de 1970 sobre o (s) nutriente (s) causador (es) do processo de eutrofização. O raciocínio era que se o (s) nutriente (s) causador (es) do crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas fosse (m) identificado (s), então era possível tentar controlar e limitar a magnitude do problema da eutrofização,

reduzindo a entrada do (s) mesmo (s) para o corpo d'água (RAST; THORNTON, 1996). Recentes estudos europeus sobre restauração de lagos e redução de nutrientes em corpos d'água também mostram que a longo prazo, as cargas externas de nutrientes devem ser controladas. Dragagem, tratamento químico e outras técnicas biológicas de manipulação tem se mostrado bastante eficazes no processo, mas, somente se associadas à redução do aporte de nutrientes (JAMES; POLLMAN, 2011).

Diante da seriedade dos problemas associados à eutrofização cultural em escala mundial, a tentativa de se mensurar o grau de enriquecimento de nutrientes em lagos e reservatórios, tem sido alvo de muitos estudos (CARLSON, 1977; LAMPARELLI, 2004; NÜRNBERG, 2001; SALAS; MARTINO, 1991). Salas e Martino (1991) ressaltam que a classificação do estado trófico possui aplicação mais efetiva para o manejo e gestão do sistema lacustre, desde que seu uso dependa do grau de trofia e conseqüentemente, da qualidade da água.

Nesta perspectiva foram desenvolvidos os índices de estado trófico para facilitar a classificação dos corpos d'água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas ou macrófitas aquáticas (CETESB, 2006; LAMPARELLI, 2004; NÜRNBERG, 2001). Dentre outros, o Índice de Carlson (CARLSON, 1977) tem sido utilizado frequentemente para regiões temperadas, mas o Índice de Salas e Martino (SALAS; MARTINO, 1991) é mais comumente aplicado para ambientes tropicais, tendo em vista as diferenças climáticas e regionais entre lagos e a existência de variabilidade inter-regional entre os mesmos (RAST; THORNTON, 1996; SALAS; MARTINO, 1991). No Brasil, o IET divulgado desde 1998 até 2004 pela CETESB, foi o índice clássico introduzido por Carlson e modificado por Toledo *et al.* (1983 apud CETESB, 2006). Este índice avalia o estado trófico em função dos valores obtidos para as variáveis: transparência (disco de Secchi), clorofila *a* e fósforo total (CETESB, 2006).

Na tentativa de aprimorar os dados apresentados e ajustá-los às condições regionais brasileiras, Lamparelli (2004) realizou um estudo através de dados obtidos entre 1996 e 2001 pela CETESB, em sua rede de monitoramento das águas superficiais do Estado de São Paulo, em 69 pontos de amostragem (35 em rios e 34 em reservatórios). Assim, foi proposta uma nova modificação do Índice de Carlson, mais adequada a ambientes tropicais, permitindo-se uma maior gama de classificações e com nova proposta para ambientes lóticos. Nesta nova abordagem, foram incluídas as classes “Ultraoligotrófica”, “Hipereutrófica” e “Supereutrófica”. Os limites dos diferentes níveis tróficos para rios e reservatórios são: Ultraoligotrófico ( $IET \leq 47$ ); Oligotrófico ( $47 < IET \leq 52$ ); Mesotrófico ( $52 < IET \leq 59$ );

Eutrófico ( $59 < IET \leq 63$ ); Supereutrófico ( $63 < IET \leq 67$ ); Hipereutrófico ( $IET > 67$ ) (CETESB, 2013a; LAMPARELLI, 2004).

No Brasil, alguns estados como São Paulo (CETESB, 2006), Minas Gerais (IGAM, 2013) e alguns estudos isolados (BARZAN *et al.*, 2007; BUCCI, 2011; BUCCI; OLIVEIRA, 2014; GARCIA; GARCIA; LEITE, 2007) têm adotado o IET proposto por Lamparelli (2004), adequando os dados e a logística disponíveis e, fazendo as modificações necessárias para a aplicação do método.

### 3.1.3 Metais

#### 3.1.3.1 O uso das terminologias “metais pesados”, “elementos-traço” e “metais-traço”

Existem várias denominações encontradas na literatura, como “metais pesados”, “elementos-traço”, “metais-traço”, dentre outras. Uma primeira abordagem refere-se ao uso destes termos.

Malavolta (1994) define “metais pesados” como elementos que possuem densidade atômica maior que  $5 \text{ g/cm}^3$  ou que possuam número atômico maior que 20, englobando metais e ametais. Esteves (1998) cita que esta denominação é considerada por alguns estudiosos, como um termo sem nenhum fundamento químico, e atualmente está em desuso. Para Baird (2002), corresponde a uma classe de elementos químicos, dos quais muitos são venenosos para os seres humanos, incluindo o arsênio, como um deles, que é um ametal. Existem várias discussões sobre este assunto, onde diversos autores defendem ou contestam o seu uso.

Esteves (1998) define o termo “elementos-traço”, como elementos químicos existentes na natureza, geralmente em pequenas concentrações, da ordem de partes por bilhão (ppb) ou partes por milhão (ppm). Esta é a denominação mais aceita atualmente, devido a não distinção entre metal e ametal e à sua ocorrência em baixas concentrações nos ambientes (ESTEVES, 1998).

Vários estudos utilizam a denominação “metais-traço”, como um subtipo do anterior (ANDRADE; PATCHINEELAM, 2000; BARBOSA, F. G.; WALLNER-KERSANACH, M.; BAUMGARTEN, M. G. Z, 2012; MARIANI, C. F., 2006). Neste estudo<sup>6</sup>, optou-se por utilizar apenas o termo “metal”.

---

<sup>6</sup> Nas diversas citações ao longo do texto deste estudo, as denominações estão transcritas de acordo com a terminologia adotada por cada autor, e por este motivo, estão colocadas entre aspas.

### 3.1.3.2 A presença de metais nos ambientes

A distribuição dos metais na superfície da Terra é irregular e varia de acordo com as características geológicas de cada região, ocorrendo naturalmente em variados tipos de minerais, rochas, solos e águas (LEE, 1996). Os elementos metálicos que estão sendo investigados neste estudo e sua abundância na crosta terrestre pode ser observada na tabela 1.

**Tabela 1** - Abundância dos metais investigados neste estudo na crosta terrestre

<b>Metal</b>	<b>Abundância na crosta terrestre em peso (ppm)</b>
Fe	62.000
Ca	46.600
Na	22.700
K	18.400
Mn	1.060
Cr	122
Ni	99
Cu	68
Zn	76
Pb	13
Cd	0,16

**Fonte:** Adaptado de LEE (1996).

Todos os metais circulam naturalmente pelo meio ambiente. A ocorrência destes elementos em sistemas aquáticos pode ter origem geológica, através do intemperismo das rochas e lixiviação dos solos. As interferências antrópicas como atividades industriais e agrícolas na bacia de drenagem também podem contribuir de forma efetiva (ADEFEMI; AWOKUNMI, 2010; BAGGIO; HORN, 2009; FARKAS *et al.*, 2001; JACKSON, 1992). Outras fontes antrópicas importantes são oriundas de depósitos de resíduos, transporte rodoviário de veículos pesados e tráfego ferroviário ao longo dos cursos d'água, passeios de barco e deposição atmosférica (FARKAS *et al.*, 2001). Esgotos domésticos também constituem origem de entrada de metais como cobre, ferro, zinco, cádmio e prata (JACKSON, 1992). Förstner e Wittman (1983) acrescentam que, além destes, metais como chumbo, cromo e níquel também estão presentes, e que a presença de materiais sólidos particulados e matéria orgânica neste tipo de despejo propiciam a sua adsorção no meio. As águas de chuva drenadas de áreas urbanas também contribuem para impactar rios e reservatórios, pois são ricas em cobre, ferro, zinco, nutrientes e microrganismos, além de possuir elevada DBO. A disposição de resíduos sólidos domésticos e industriais nos solos é também importante fonte de

contaminação por estes elementos nos ambientes aquáticos superficiais e subterrâneos (JACKSON, 1992).

Thomas *et al.* (1988 apud JACKSON, 1992) citam que os rios afluentes transportam grande quantidade de sedimentos e substâncias para os lagos, contribuindo de forma efetiva para o aporte de metais presentes na bacia de drenagem. Um bom exemplo é o *Lake Ontario* (Canadá) que tem como maior fonte de contaminação de metais como mercúrio, ferro, zinco e cobre, o *Niagara River*.

Murphy (1988 apud JACKSON, 1992) afirma que, para muitos lagos, a atmosfera é uma importante rota de transporte de “metais pesados” e outras substâncias para a água. Baird (2002) corrobora e acrescenta que eles podem ser transportados como gases ou como espécies adsorvidas sobre o material particulado em suspensão. Este autor afirma também que metade dos “metais pesados” que entram nos grandes lagos norte-americanos são depositados a partir do ar. A outra metade, segundo Schmidtke e Andren (1984 apud JACKSON, 1992), possui como via principal de transporte, a chuva. Grande parte desses metais que entram é devido à baixa razão entre as áreas da bacia de drenagem e seus respectivos lagos. A deposição dos metais pode ser via seca ou úmida, ambas de difícil mensuração.

Tão importante quanto avaliar as fontes de entrada de metais nos corpos d’água, é conhecer o transporte e distribuição destes elementos e seus compostos nos ecossistemas. Segundo Jackson (1992), esta análise depende das características do reservatório e da natureza dos contaminantes. A localização das fontes, bem como as características físicas e químicas dos efluentes, fluxo dos rios e *runoff* vão determinar as concentrações, especiação (forma química do elemento), movimento de partículas, bem como as reações químicas e biológicas que envolvem os metais e outras substâncias existentes no meio aquático.

O movimento dos elementos metálicos presentes nos sedimentos dos reservatórios também pode interferir no transporte e na concentração dos mesmos na coluna d’água. Jackson (1992) afirma que o processo pode ser influenciado por vários fatores como: ressuspensão de partículas, fatores externos (vento), ação biológica (animais bentônicos) ou ação humana (dragagem e movimento de embarcações).

Dentre os sistemas aquáticos continentais, os lagos são os reservatórios potenciais destes elementos, podendo atingir níveis de contaminação bastante elevados devido às suas características de ambientes deposicionais (ESTEVEZ, 1998). Apesar da presença transitória e dinâmica envolvida dos metais no ambiente aquático, este representa a sua ligação com os organismos vivos, podendo-se iniciar uma rota de exposição, provocando sérios riscos à

integridade dos ecossistemas e às populações que utilizam estes recursos. O homem pode ser afetado através do consumo de água, ou indiretamente através da ingestão de alimentos contaminados, pela entrada dos metais na cadeia alimentar.

Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos, por serem absolutamente não degradáveis, podendo acumular-se nos componentes do ambiente, onde manifestam sua toxicidade. Esta, por sua vez, depende da especiação do elemento químico e do pH do meio. Em se tratando de corpos d'água, a toxicidade depende também da quantidade de carbono dissolvido e em suspensão na massa líquida. Interações como complexação e adsorção podem remover de forma satisfatória alguns íons metálicos, eliminando sua atividade biológica potencial. Os locais de fixação final dos metais são os solos e sedimentos de rios e lagos (BAIRD, 2002).

### 3.1.3.3 Efeitos dos metais pesquisados neste estudo nos organismos (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Na, K e Ca)

Os organismos vivos requerem pelo menos 27 elementos, 15 dos quais são metais (LEE, 1996). Estes são classificados em **não essenciais** e **essenciais**, podendo ser potencialmente tóxicos aos organismos, dependendo da dose e concentração. Por exemplo, metais como manganês, zinco, ferro e cobre são necessários ao metabolismo biológico dos organismos em níveis traço (da ordem de miligrama), sendo classificados como **essenciais** (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008). Estes elementos em especial, formam compostos que apresentam propriedades catalíticas e fazem parte das estruturas de algumas enzimas (LEE, 1996). Por isso possuem fundamental importância biológica, conforme pode ser visto no quadro 1.

<b>Quadro 1 - Importância biológica de alguns metais investigados neste estudo</b>	
<b>Metal</b>	<b>Função biológica</b>
Mn <sup>+2</sup>	Formação da uréia
	Adição ou remoção de PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
Fe <sup>+2</sup> ou Fe <sup>+3</sup>	Fotossíntese
	Transporte de O <sub>2</sub> nos animais superiores
	Oxidação aeróbica de carboidratos
Cu <sup>+1</sup> e Cu <sup>+2</sup>	Oxidação de aminas
	Oxidação de ácido ascórbico
	Oxidação da galactose
	Elasticidade das paredes da aorta
	Produção de noradrenalina necessária para gerar impulsos nervosos no cérebro
	Pigmentação da pele
	Transporte de O <sub>2</sub> em invertebrados
	Fotossíntese
Zn <sup>+2</sup>	Metabolismo do álcool
	Liberção de PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
	Regulação do pH e formação do CO <sub>2</sub>
	Digestão de proteínas

**Fonte:** Adaptado de LEE (1996).

Metais como níquel, cromo, selênio, dentre outros, também são **essenciais**, pelo menos para alguns organismos, porém são necessários em níveis ultra-traço (da ordem de micrograma-nanograma) (LEE, 1996; OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008). Já metais como mercúrio, chumbo, cádmio, prata e cromo, dentre outros, **não** tem função biológica conhecida e são **geralmente tóxicos** a uma grande variedade de organismos (ESTEVES, 1998). Para os metais essenciais devem ser supridas as necessidades diárias mínimas de ingestão para o homem (LIMA; PEDROSO, 2001) e, dentre os metais investigados, incluem-se nesta classificação o sódio, potássio e cálcio.

Os metais **tóxicos** podem ser altamente prejudiciais à saúde dos organismos mesmo em baixas concentrações e os **metais essenciais**, quando em excesso, também podem produzir efeitos nocivos. No entanto, é importante ressaltar que as concentrações necessárias de metais essenciais aos organismos e as concentrações nas quais estes metais possuem efeito tóxico aos mesmos, são bem próximas. Para esses elementos, há riscos associados ao ingresso corpóreo tanto de baixos, como de elevados níveis de metal. Assim, na avaliação do risco tanto para o homem, como para outras espécies presentes no meio, dois aspectos devem ser considerados: **a essencialidade e a toxicidade** (LIMA; PEDROZO, 2001; TÜZEN, 2003).

Muitos metais após entrarem na água são absorvidos pela fauna e flora locais e, eventualmente, acumulados pelos organismos aquáticos, que são consumidos pelo homem

(ADEFEMI; AWOKUNMI, 2010; BAIRD, 2002; FERREIRA; MACHADO; ZALMON, 2004; SPIRO; STIGLIANI, 2009). A **absorção e o acúmulo** de metais nos organismos dependem das propriedades físicas e químicas da água e do sedimento. Podem interferir também nos hábitos alimentares dos animais, bem como a biodisponibilidade do metal na água (SILVA, 2009). Outros fatores que também devem ser considerados são as **reações de complexação** de metais com ligantes orgânicos e inorgânicos e a especiação química do elemento metálico, ou seja, da forma química do elemento no meio (BAIRD, 2002; JACKSON, 1992). Portanto, nos ecossistemas aquáticos continentais, estes elementos podem estar na forma iônica, complexada (principalmente as moléculas orgânicas) e particulada (componente dos detritos e da biomassa) (ESTEVES, 1998), e isto interfere diretamente na toxicidade aos organismos.

Lima Junior *et al.*, (2002 apud SILVA, 2009) acrescentam que esta capacidade de alguns metais formarem complexos de coordenação com substâncias orgânicas podem inibir sua liberação pelo organismo vivo, aumentando seu efeito tóxico. Isso faz com que ele alcance concentrações até 1.000 vezes maior do que sua concentração no meio ambiente. Baird (2002) cita, por exemplo, que ostras e mexilhões podem conter níveis de mercúrio e cádmio cerca de 100.000 vezes maior que os das águas em que vivem, fenômeno conhecido por bioconcentração.

A toxicidade dos metais para os animais e para o homem, associado à capacidade de alguns deles se bioacumularem<sup>7</sup> na cadeia trófica por longo tempo, justificam a determinação dos níveis destes elementos em organismos (FERREIRA; MACHADO; ZALMON, 2004), bem como nos ambientes aquáticos em que vivem, observando o fenômeno da bioconcentração.

Os efeitos desses poluentes podem ser letais ou subletais para fitoplâncton, zooplâncton, bentos, peixes, pássaros e finalmente, os seres humanos. Diversas são as consequências da exposição da biota aquática aos metais, como por exemplo: a redução da biomassa (crescimento e reprodução) no zooplâncton e zoobêncton; acumulação de metais como o mercúrio, por exemplo, em peixes presentes em águas de baixo pH, declínio na diversidade de várias comunidades bióticas (ILEC, 2007), dentre outros.

---

<sup>7</sup> **Bioacumulação** é um termo geral que descreve um processo pelo qual as substâncias químicas são absorvidas por uma planta ou animal diretamente a partir da exposição a um meio contaminado (solo, água, sedimentos) ou pela ingestão de alimentos contendo o produto químico. Termos relacionados são:

**Bioconcentração**, em que substâncias químicas são absorvidas por um animal ou planta para níveis mais elevados do que o ambiente circundante, e **biomagnificação**, na qual os níveis químicos em plantas ou animais aumentam através da transferência na cadeia alimentar (predadores têm uma maior concentração de uma determinada substância química do que suas presas) (BAIRD, 2002; USEPA, 2011b).

A presença de “metais pesados” em peixes, crustáceos e moluscos bivalves está associada aos riscos à saúde pública. Se estes organismos forem consumidos, os contaminantes podem se acumular no homem, ocasionando desde alterações metabólicas inespecíficas, até quadros graves de intoxicação (TÜNZEN, 2003).

Algumas características dos metais que estão sendo investigados neste estudo estão apresentadas a seguir:

### **Ferro (Fe)**

O ferro é o metal mais utilizado dentre todos os outros. É o quarto elemento em abundância na crosta terrestre, em peso, sendo liberado das fontes naturais para o ar, água, sedimento e solo (LEE, 1996; LIMA; PEDROSO, 2001). Os principais minérios de ferro encontrados são: hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), limonita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) e pirita ( $\text{FeS}_2$ ) (LEE, 1996).

Na água, o ferro pode ocorrer na forma iônica ou complexada, como íon di ou trivalente, em estado coloidal ou disperso (APHA, 1998). Por exposição à atmosfera, no entanto, o  $\text{Fe}^{+2}$  se oxida a  $\text{Fe}^{+3}$ , dando uma cor marrom-avermelhada censurável nas águas utilizadas para consumo. Pode ser encontrado em águas naturais, em níveis variando de 0,5 a 50,0 mg/L. Concentrações elevadas no ambiente aquático estão relacionadas com atividade antropogênica e desenvolvimento urbano (WHO, 2011). Nas águas superficiais, as concentrações aumentam nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. As águas naturais que contêm ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa (CETESB, 2009).

É um elemento essencial a todas as formas de vida, sendo um componente-chave na manutenção da homeostase celular. Muitos processos biológicos são intermediados por enzimas que requerem o ferro como cofator para seu funcionamento (LIMA; PEDROSO, 2001). Sendo fundamental para a nutrição humana, particularmente no estado de oxidação  $\text{Fe}^{+2}$ , as estimativas da exigência mínima diária variam aproximadamente de 10,0 a 50,0 mg /dia (WHO, 2011).

Em águas potáveis, ocorre como resultado do uso de coagulantes à base do metal ou da corrosão do aço e tubos de ferro durante a distribuição de água (WHO, 2011). Apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. A objeção à presença de ferro na água utilizada para consumo não é devida a razões de saúde; sua presença está relacionada à alteração de cor, paladar e odor, presença de espuma e aumento da turbidez da água provocadas pelas “ferrobactérias”. Estes organismos existem no

meio ambiente e incorporam o ferro presente de maneira apreciável, utilizando-o como fonte de energia (APHA, 1998; WHO, 2011). Normalmente não há sabor perceptível em concentrações deste metal abaixo de 0,3 mg/L, embora a turbidez e a cor possam se pronunciar (WHO, 2011).

A população expõe-se ao ferro principalmente através dos alimentos e bebidas. Tanto a deficiência quanto o excesso são prejudiciais ao organismo humano, mas a partir dos dados obtidos, pode-se afirmar que o risco à saúde decorrente da deficiência é superior ao decorrente da exposição excessiva a este elemento (LIMA; PEDROSO, 2001).

### **Cálcio (Ca)**

É o quinto elemento mais abundante na crosta terrestre em peso, sendo um dos constituintes de diversos minerais bastante comuns em todo o planeta, como o gesso e a fluorapatita, dentre outros. Há vastos depósitos sedimentares de  $\text{CaCO}_3$ , formando montanhas inteiras de calcário, mármore e greda (penhascos brancos de *Dover* – Inglaterra), e também na forma de corais (LEE, 1996).

Os íons  $\text{Ca}^{+2}$  são importantes biologicamente, pois são constituintes dos ossos e dentes e são fundamentais no processo de coagulação do sangue. É necessário também para dar início à contração dos músculos e para manter os batimentos do coração (LEE, 1996). Estes íons têm importante papel na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, sendo fundamentais para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial, os moluscos (ESTEVEZ, 1998).

### **Sódio (Na)**

É o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, em peso. Ocorre em grandes quantidades na água do mar, sendo que sua principal fonte é o sal-gema ( $\text{NaCl}$ ) (LEE, 1996). Pode ser encontrado nas plantas e animais, já que é um elemento ativo para os organismos vivos. Os sais de sódio são altamente solúveis e, por isso, estão presentes em todas as águas naturais na forma iônica ( $\text{Na}^+$ ) (CETESB, 2009). São encontrados também em quase todos os alimentos, que são a principal fonte de exposição diária, e na água potável (WHO, 2011).

O aumento das concentrações de sódio nas águas superficiais pode ser consequência de lançamentos de efluentes domésticos e industriais, bem como do uso de sais em rodovias para controlar neve e gelo, principalmente, nos países da América do Norte e Europa. As condições geológicas do local também influenciam nas concentrações do íon metálico na água, que podem variar de 1,0 mg/L ou menos até 10,0 mg/L ou mais em salmoura natural.

Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, têm níveis bem abaixo de 50,0 mg/L (CETESB, 2009).

Embora as concentrações de sódio na água potável sejam geralmente menores do que 20,0 mg/L, elas podem exceder em alguns países. O limiar de concentração de sódio no gosto da água depende do ânion associado e da temperatura da solução. No entanto, concentrações superiores a 200,0 mg/L podem dar origem a gosto inaceitável. Não há conclusões sobre a possível associação entre a presença de sódio na água potável e a ocorrência de hipertensão (WHO, 2011).

### **Potássio (K)**

É o oitavo elemento mais abundante da crosta terrestre, em peso. É encontrado principalmente em depósitos de silvita (KCl), silvinita (KCl e NaCl) e carnalita (KCl. MgCl<sub>2</sub>. 6 H<sub>2</sub>O) (LEE, 1996). Ocorre amplamente no meio ambiente, incluindo todas as águas naturais em baixas concentrações, já que rochas que contêm este metal são relativamente resistentes às ações do tempo. Geralmente as concentrações são menores que 10,0 mg/L. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces através das descargas industriais e de áreas agrícolas. O potássio é usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Ele é pronto para ser incorporado em estruturas minerais e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial (CETESB, 2009).

É raramente encontrado na água potável em níveis preocupantes para a saúde, como consequência do uso de permanganato de potássio no tratamento de água, como agente oxidante. Apesar da existência de efeitos para a saúde em alguns indivíduos, a ingestão a partir da água está bem abaixo do nível no qual efeitos adversos sobre a saúde possam ocorrer (WHO, 2011). Sais de potássio são largamente usados na indústria e na produção de fertilizantes, entrando nas águas doces através das descargas industriais e através do escoamento superficial de áreas agrícolas (CETESB, 2009). O potássio é um nutriente essencial para seres humanos e a dose diária necessária é superior a 3.000 mg (WHO, 2011).

### **Manganês (Mn)**

O manganês é o décimo segundo elemento mais abundante da crosta, em peso. É encontrado principalmente no minério pirolusita (MnO<sub>2</sub>), geralmente ocorrendo junto com o ferro (LEE, 1996). Ele é usado principalmente na fabricação de ligas de ferro e aço, como um agente oxidante, branqueamento e desinfecção (permanganato de potássio) e como matéria-

prima na fabricação de diversos produtos. Mais recentemente, tem sido utilizado para estimular a ação do octano na gasolina na América do Norte (WHO, 2011). São produzidas grandes quantidades de  $MnO_2$ , que são usados principalmente na fabricação de pilhas secas e na indústria de cerâmica (LEE, 1996).

Ocorre naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação dos ambientes aquáticos. As águas superficiais naturais, raramente atingem concentrações de 1,0 mg/L e, normalmente, está presente em quantidades que variam em torno de 0,2 mg/L. Desenvolve coloração negra na água, podendo apresentar-se nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (menos solúvel) (CETESB, 2009).

A presença de manganês em água potável, como o ferro, pode levar ao acúmulo de depósitos no sistema de distribuição. Muitas vezes, em concentrações de 0,2 mg/L, pode haver formação de um revestimento nos tubos, que pode desprender-se como um precipitado preto. Concentrações inferiores a 0,1 mg/L são geralmente aceitáveis para os consumidores, sendo que valores superiores podem provocar um sabor indesejável à água (WHO, 2011). A CETESB (2009) considera que geralmente, o consumidor aceita concentrações menores que 0,05 mg/L.

O manganês é um elemento essencial para muitos organismos, incluindo o ser humano. Os alimentos são a maior fonte de exposição para o homem (CETESB, 2009; WHO, 2011). Em pequeníssimas quantidades, é essencial ao processo de fotossíntese e para o crescimento de animais e plantas. É por isso, adicionado sob a forma de  $MnSO_4$ , em fertilizantes (LEE, 1996).

Estudos sobre toxicidade do metal realizados em aves, revelam que níveis elevados de manganês podem causar redução da hemoglobina, anemia e crescimento reduzido dos organismos. Em mamíferos, os efeitos incluem alterações nas substâncias químicas cerebrais, irritação gástrica, atraso no desenvolvimento testicular, baixo peso no nascimento de indivíduos, alterações comportamentais e fraqueza muscular (USEPA, 2011b).

### **Cromo (Cr)**

O cromo é o vigésimo primeiro elemento mais abundante na crosta terrestre em peso, sendo encontrado principalmente no minério cromita ( $FeCr_2O_4$ ) (LEE, 1996). Está presente também em animais, rochas, solos, plantas (USEPA, 2011a), e na maioria das águas superficiais, que geralmente contém entre 1,0 e 10,0  $\mu g/L$  do metal (CETESB, 2009). É usado na fabricação de aço, tintas e corantes, revestimento metálicos, conservantes de madeira,

beneficiamento de curtumes, dentre outros. As formas mais comuns de cromo encontradas no ambiente são  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$  e cromo metálico (estado de oxidação zero) (USEPA, 2011a).

Em geral, os alimentos parecem ser a principal fonte de ingestão para humanos (WHO, 2011). Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo humano e sua carência causa doenças, porém, na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno (CETESB, 2009; WHO, 2011). Estudos sobre a carcinogenicidade a longo prazo em ratos que receberam o  $\text{Cr}^{+3}$  por via oral, mostraram que não foi observado aumento na incidência de tumores. Porém, o  $\text{Cr}^{+6}$  mostrou-se cancerígeno pela via inalatória, embora tenha sido observado carcinogenicidade pela via oral, em doses elevadas. No entanto, há evidências de que existe uma associação entre a exposição ao  $\text{Cr}^{+6}$  por inalação e câncer de pulmão, sendo por isso classificado como carcinógeno humano. Compostos de  $\text{Cr}^{+6}$  são ativos em um grande número de testes *in vitro* e em testes de genotoxicidade *in vivo*, enquanto compostos de  $\text{Cr}^{+3}$  não são (WHO, 2011).

Há uma ampla gama de efeitos adversos em organismos aquáticos, principalmente nos níveis tróficos inferiores. Em invertebrados bentônicos tem sido observada redução da fecundidade e sobrevivência, inibição do crescimento, e modificações nos padrões de movimento normal. Em peixes, notam-se redução do crescimento, aberrações cromossômicas e alterações morfológicas. O cromo inibe o crescimento de algas, reduz a fecundidade e a sobrevivência de invertebrados bentônicos e também reduz o crescimento de alevinos de água doce. Pode causar câncer e efeitos teratogênicos nestes organismos (USEPA, 2011b). De acordo com Eisler (1986 apud USEPA, 2011b), o  $\text{Cr}^{+6}$  é facilmente convertido em  $\text{Cr}^{+3}$  nos animais, o que parece proteger os organismos superiores dos efeitos da exposição de baixo nível.

A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) iniciou uma revisão rigorosa e abrangente sobre os efeitos do  $\text{Cr}^{+6}$  para a saúde. Em 2010, a Agência anunciou algumas ações como: trabalhar com as autoridades para melhor determinar como são difundidos os contaminantes no ambiente; orientar quanto à avaliação da água potável, fornecendo métodos analíticos aprovados e outras informações técnicas; assistir às comunidades que estão expostas aos mais altos níveis do metal; trabalhar com os operadores do sistema de água e engenheiros para garantir os mais recentes ensaios e métodos de monitoramento. Com base nas avaliações científicas, a USEPA tem intensificado a vigilância nos padrões de água potável para enfrentar os riscos à saúde causados pelo  $\text{Cr}^{+6}$  e determinar se novos limites precisam ser estabelecidos a fim de proteger a população dos efeitos tóxicos causados por este íon metálico (USEPA, 2011a).

### **Níquel (Ni)**

O níquel é o vigésimo segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, em peso. O minério mais importante é a pentlandita, que sempre apresenta uma proporção Fe:Ni de 1:1 (LEE, 1996). Seus compostos são utilizados em galvanoplastia, na fabricação de ligas metálicas como o aço inoxidável, manufatura de baterias Ni-Cd, moedas, pigmentos, dentre outros usos (CETESB, 2009).

Os alimentos são a principal fonte de exposição para seres humanos, sendo que a água é geralmente um contribuinte menor para a ingestão total diária oral. No entanto, em locais onde a poluição é intensa, ou em áreas nas quais o níquel ocorre naturalmente nas águas subterrâneas, ou ainda quando a água tenha entrado em contato com torneiras niqueladas, a contribuição a partir de água pode ser mais significativa (WHO, 2011).

A principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao níquel e não fumante é o consumo de alimentos. A ingestão de elevadas doses de sais do metal pode causar irritação gástrica (CETESB, 2009). Estudos concluíram que quando os compostos de níquel são inalados, podem ser cancerígenos para os seres humanos e que o níquel metálico é possivelmente carcinogênico. No entanto, há falta de evidências de risco cancerígeno através da via oral (WHO, 2011). O efeito adverso mais comum da exposição ao níquel é uma dermatite de contato alérgico (CETESB, 2009; WHO, 2011), sendo que cerca de 10 a 20% da população é sensível ao metal (CETESB, 2009).

De acordo com a *Environment Canada* (1994a apud USEPA, 2011b), o níquel é cancerígeno e causa efeitos mutagênicos em organismos aquáticos. Moluscos e crustáceos tem-se mostrados mais sensíveis, podendo ser observados danos aos tecidos, genotoxicidade e redução do crescimento.

A concentração na água potável normalmente é inferior a 0,02 mg/L, embora o níquel liberado a partir das torneiras e acessórios pode contribuir com até 1,0 mg/L (CETESB, 2009; WHO, 2011). Em casos especiais, onde existem depósitos naturais de níquel ou ocorre lançamento de resíduos industriais, as concentrações podem ser maiores (WHO, 2011). Em águas superficiais naturais, os níveis podem chegar a 0,1 mg/L, sendo que valores superiores podem ser encontrados em áreas de mineração do metal (CETESB, 2009). A maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é a mineração e fundição do metal, além da queima de combustíveis, fusão e modelagem de ligas metálicas, resíduos de indústrias de eletrodeposição, fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados (CETESB, 2009).

### **Cobre (Cu)**

O cobre é o vigésimo quinto elemento mais abundante na crosta terrestre, em peso. O minério mais comum é a calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), podendo ser encontrado também na calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), dentre outros (LEE, 1996). Ocorre naturalmente em todas as plantas e animais (CETESB, 2009), sendo tanto um nutriente essencial para os organismos como um contaminante para a água potável. Alimento e água são as fontes primárias de exposição ao cobre em países desenvolvidos (WHO, 2011).

O metal é usado para fazer tubos, válvulas e acessórios e está presente em ligas e revestimentos. Sulfato de cobre pentahidratado às vezes é adicionado à superfície da água para o controle de algas (WHO, 2011).

As fontes de contaminação do meio ambiente incluem mineração de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, efluentes de estações de tratamento de esgotos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do cobre, bem como a precipitação atmosférica de fontes industriais (CETESB, 2009).

Para a WHO (2011), níveis acima de 5,0 mg/L de cobre produzem cor e sabor amargo indesejáveis à água potável. A CETESB (2009) afirma que concentrações acima de 2,5 mg/L são capazes de produzir este efeito e que níveis acima de 1,0 mg/L provocam coloração em louças e sanitários.

O limite superior do intervalo aceitável de ingestão oral em adultos é incerto, mas varia em torno de 2,0 ou 3,0 mg/dia. Esta avaliação foi baseada apenas em estudos sobre efeitos gastrointestinais em água potável contaminada com cobre. Os dados sobre estes efeitos devem ser usados com cautela, pois existem incertezas sobre os efeitos a longo prazo (WHO, 2011). Segundo a CETESB (2009), estudos mostram que uma concentração de 20,0 mg/L de cobre ou um teor total de 100,0 mg/L por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem, com lesões no fígado.

Em ecossistemas aquáticos, o cobre adsorve fortemente a matéria orgânica, carbonatos e argila, o que reduz sua biodisponibilidade no meio. É altamente tóxico com efeitos adversos para invertebrados, anfíbios e peixes (USEPA, 2011b). Concentrações de 0,5 mg/L são letais para carpas, trutas, bagres, peixes ornamentais e outros; doses acima de 1,0 mg/L são letais para vários microrganismos (CETESB, 2009).

Sulfato e outros compostos de cobre são eficazes algicidas. Algas e cianobactérias são particularmente suscetíveis aos efeitos agudos, que incluem reduções na fotossíntese e

crescimento, perda de pigmentos fotossintéticos, interrupção da regulação de potássio e mortalidade de indivíduos (USEPA, 2011b).

Existe um potencial moderado de bioacumulação em plantas e sem efeitos de biomagnificação. Tóxico também para aves, reduz taxas de crescimento, produção de ovos e provoca anomalias no desenvolvimento. Os mamíferos não são tão sensíveis à toxicidade de cobre como os organismos aquáticos, mas sofrem uma grande variedade de efeitos, como cirrose hepática, necrose nos rins e no cérebro, desconforto gastrointestinal, lesões, pressão arterial baixa e mortalidade fetal (USEPA, 2011b).

### **Zinco (Zn)**

O zinco é o vigésimo quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, em peso. Os minérios mais importantes são conhecidos como esfarelita (EUA) ou blenda (Europa) ( $ZnS$ ) e a smithsonita (EUA) ou calamina (Europa) ( $ZnCO_3$ ) (LEE, 1996). O metal e seus compostos são muito usados na fabricação de ligas e latão, suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes, xampus, galvanização do aço, dentre outros (CETESB, 2009).

É um elemento-traço encontrado na água potável e em praticamente todos os alimentos, na forma de sais ou complexos orgânicos (WHO, 2011). De acordo com a CETESB (2009), a presença de zinco é comum em águas superficiais naturais, em concentrações geralmente abaixo de  $10,0 \mu\text{g/L}$ . O metal confere um sabor adstringente e indesejável à água potável, com uma concentração em torno de  $4,0 \text{ mg/L}$  (como sulfato de zinco). No entanto, beber água contendo zinco em níveis acima de  $3,0 \text{ mg/L}$  pode não ser aceitável para os consumidores. Embora a água raramente contenha concentrações acima de  $0,1 \text{ mg/L}$ , os níveis podem ser consideravelmente maiores por causa do material utilizado nos encanamentos galvanizados, o que pode ser também um indicador de cádmio elevado, quando o material é mais antigo (WHO, 2011).

A dieta é normalmente a principal fonte de zinco e as necessidades diárias para homens adultos é da ordem de  $15,0$  a  $20,0 \text{ mg/dia}$  (WHO, 2011). É um elemento essencial ao corpo humano em pequenas quantidades, sendo que a atividade da insulina e de diversos compostos enzimáticos depende da sua presença. O zinco só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em altas concentrações, o que é extremamente raro, e, neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano. Nos animais, a deficiência em zinco pode conduzir ao atraso no crescimento (CETESB, 2009).

Eisler (1993 apud USEPA, 2011b) informa que em ecossistemas aquáticos, níveis elevados de zinco podem provocar efeitos adversos em plantas e animais, afetando o

crescimento, a sobrevivência e a reprodução. Invertebrados terrestres também mostram sensibilidade a altas concentrações do metal, com redução da sobrevivência, crescimento e reprodução. Mortalidade elevada, ganho de peso, degradação de pâncreas e crescimento reduzido podem ser observados em aves. Os mamíferos comumente apresentam problemas cardiovasculares, imunológicos, neurológicos, hematológicos e reprodutivos, sendo que órgãos como fígado, rim e pâncreas também podem ser afetados.

### **Chumbo (Pb)**

O chumbo é o trigésimo sexto elemento em abundância na crosta terrestre em peso, sendo encontrado principalmente no mineral galena (PbS) (LEE, 1996). Está presente no tabaco, no ar, nas bebidas e nos alimentos. Possui ampla aplicação industrial, sendo utilizado na fabricação de esmaltes, inseticidas, vidros, ligas metálicas (CETESB, 2009), produção de baterias e acumuladores de chumbo/ácido, solda (WHO, 2011), bem como na produção de tintas e pigmentos, como o zarcão. Devido à sua toxicidade seu uso vem declinando, sendo o  $TiO_2$  uma boa alternativa para substituí-lo. A poeira e as lascas de tinta que se desprendem das paredes são a principal fonte de exposição em ambientes internos (LEE, 1996; SPIRO; STIGLIANI, 2009). Os compostos de chumbo são usados como antidetonantes e agentes lubrificantes na gasolina, porém, seu uso para este fim em muitos países tem sido amplamente eliminado. Por isso, as concentrações no ar e nos alimentos estão diminuindo, bem como os níveis no sangue humano (WHO, 2011).

A presença do metal na água é devido à deposição atmosférica ou lixiviação do solo. É raramente encontrado na água de torneira, exceto quando os encanamentos são à base de chumbo ou soldas, acessórios ou outras conexões (CETESB, 2009). As concentrações na água potável são geralmente inferiores a  $5,0 \mu\text{g/L}$  (WHO, 2011).

As fontes naturais de chumbo contribuem muito pouco com as quantidades do metal encontradas no ar, alimento, água e poeira. A maior parte deste metal encontrado nesses meios surge de emissões provenientes de automóveis (nos locais onde o metal ainda é usado na gasolina) e de fontes industriais (PAOLIELLO; CHASIN, 2001). A exposição da população em geral ocorre principalmente por ingestão de alimentos e bebidas contaminadas através destas fontes (CETESB, 2009). Após absorvido pelo organismo, é distribuído entre os tecidos moles (sangue, fígado, rins, entre outros) e rígidos (ossos e dentes) de forma não homogênea. Os ossos podem ser adversamente afetados pelo chumbo, mas também servem como os maiores reservatórios do elemento, com uma meia-vida de aproximadamente 27 anos (PAOLIELLO; CHASIN, 2001).

A absorção está associada a uma ampla gama de efeitos, incluindo: danos no desenvolvimento neurológico, mortalidade (principalmente devido a doenças cardiovasculares), diminuição da função renal, hipertensão, alterações na fertilidade, resultados adversos na gravidez (WHO, 2011), problemas de comportamento e dificuldades de aprendizagem (crianças menores que seis anos são mais vulneráveis), atrasos no desenvolvimento físico e mental, déficits de atenção, convulsões e até mesmo a morte de indivíduos (USEPA, 2011b). A exposição aguda causa sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrointestinal, vômitos e diarreias. É um composto cumulativo que provoca um envenenamento crônico denominado saturnismo (CETESB, 2009). De acordo com Salgado (1996 apud PAOLIELLO; CHASIN, 2001), estudos realizados em roedores demonstraram que o chumbo atua como promotor da carcinogênese renal, interferindo nos processos cromossômicos, induzindo a estabilização da cromatina e inibindo o mecanismo de reparo do DNA. Porém, estudos epidemiológicos realizados com trabalhadores expostos ao metal não comprovaram esta ação.

Os principais impactos ecológicos são os efeitos adversos em algas, invertebrados bentônicos, anfíbios, embriões e alevinos de peixes de água doce. Peixes expostos a altos níveis de chumbo apresentam uma ampla gama de efeitos, incluindo a degeneração muscular e neurológica, inibição do crescimento, mortalidade, problemas reprodutivos e paralisia (USEPA, 2011b). As doses letais para peixes variam de 0,1 a 0,4 mg/L, embora alguns resistam até 10,0 mg/L em condições experimentais (CETESB, 2009). Em níveis elevados nas plantas, pode reduzir o crescimento, a fotossíntese, a mitose e a absorção de água. Aves e mamíferos sofrem os efeitos da intoxicação por chumbo, tais como danos ao sistema nervoso, rins, fígado, esterilidade, inibição do crescimento, retardo de desenvolvimento, e efeitos prejudiciais no sangue (USEPA, 2011b).

### **Cádmio (Cd)**

O cádmio é encontrado em quantidades traço (cerca de 2 a 3 ppm) na maioria dos minérios de zinco. Ocupa o sexagésimo quinto elemento em abundância na crosta terrestre, em peso (LEE, 1996). É amplamente utilizado na indústria siderúrgica, fabricação de plásticos e baterias, dentre outros. O metal é liberado para o meio ambiente através do escoamento superficial de fertilizantes aplicados ao solo, poluição atmosférica local, lançamento de efluentes industriais, principalmente aqueles provenientes de galvanoplastia, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos (CETESB, 2009; WHO, 2011). Outra fonte difusora deste metal para o ambiente é o

intemperismo sobre a superfície do aço tratado com zinco galvanizado, tendo em vista que o cádmio está sempre presente como contaminante nos produtos de zinco (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Em águas não poluídas, normalmente a concentração de cádmio é inferior a 1,0 µg/L. A água potável apresenta baixas concentrações, geralmente entre 0,01 e 1,0 µg/L (CETESB, 2009), entretanto pode ocorrer contaminação devido à presença de cádmio como impureza no zinco de tubulações galvanizadas, soldas e alguns acessórios metálicos (CETESB, 2009; WHO, 2011). No Japão, na década de 60, a contaminação da água que irrigava as plantações de arroz causou a doença conhecida como “*Itai-Itai*”, caracterizada por dano renal, dor generalizada e fragilidade óssea (CETESB, 2009).

A principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao cádmio é a oral, sendo o alimento a principal fonte (WHO, 2011), através de vegetais e grãos. A “mimetização do zinco” é provavelmente a razão pela qual o cádmio é ativamente absorvido pelas plantas, já que o zinco representa um nutriente essencial para elas (SPIRO; STIGLIANI, 2009). A ingestão diária por esta via é aproximadamente de 10,0 a 35,0 µg. O fumo também é uma significativa fonte de exposição ao metal (WHO, 2011). A ingestão de alimentos ou água contendo altas concentrações de cádmio pode causar irritação no estômago, levando ao vômito, diarreia e, às vezes, à morte (CETESB, 2009).

Através da exposição crônica, o cádmio acumula-se principalmente nos rins e tem uma longa meia-vida biológica em seres humanos, da ordem de 10-35 anos. Há evidências de que o cádmio é cancerígeno pela inalação. No entanto, não há nenhuma evidência de carcinogenicidade por via oral, e não há evidência clara para a genotoxicidade de cádmio. As concentrações críticas de cádmio encontradas na urina de humanos mostram que o rim é o órgão mais atingido pela toxicidade do metal no organismo (WHO, 2011).

O metal é altamente tóxico para a vida selvagem, podendo causar câncer e efeitos teratogênicos, sendo potencialmente causadores de mutação, com graves efeitos subletais e letais em baixas concentrações ambientais. Ele está associado ao aumento da mortalidade, efeitos nas funções respiratórias, contrações musculares, redução do crescimento e reprodução. A bioacumulação ocorre em todos os níveis tróficos de organismos aquáticos, principalmente nos fígados e rins de peixes. Crustáceos parecem ser mais sensíveis ao cádmio do que peixes e moluscos. Pode ser tóxico para as plantas em concentrações mais baixas no solo, sendo mais facilmente absorvido do que outros metais. Por outro lado, alguns insetos podem acumular altos níveis de cádmio, sem efeitos adversos (USEPA, 2011b). A CETESB

(2009) acrescenta que alguns experimentos com animais demonstram que o metal produz efeitos tóxicos em vários órgãos como, fígado, rins, pulmão e pâncreas.

O cádmio é visto, portanto, como um poluente importante para o mundo, sendo um dos metais introduzidos na lista de produtos tóxicos, persistentes e biocumulativos, considerados pela USEPA. Foi incluído na lista de substâncias e processos considerados potencialmente perigosos ao planeta (CARDOSO; CHASIN, 2001). Apesar de não apresentar a biomagnificação, é um veneno cumulativo porque não é eliminado rapidamente, permanecendo no organismo por várias décadas (BAIRD, 2002).

### **3.1.4 Agrotóxicos**

#### **3.1.4.1 Introdução e aspectos legais**

O uso de agrotóxicos no Brasil é regulamentado pela Lei 7.802/1989 (BRASIL, 1989), sendo necessário o seu prévio registro em órgão federal, de acordo com as diretrizes e exigências feitas pelos setores da saúde, do meio ambiente e da agricultura. De acordo com esta norma, agrotóxicos e afins são produtos e componentes de diferentes processos, destinados ao uso na produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas e outros ambientes, com o objetivo de preservá-los da ação danosa de seres considerados nocivos, e ainda, as substâncias e produtos usados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento (BRASIL, 1989).

O uso de produtos químicos no controle de pragas na agricultura é uma prática antiga, sendo utilizadas inicialmente, substâncias inorgânicas à base de arsênio e cobre em sua produção. A partir da Segunda Guerra Mundial, houve necessidade de se buscar produtos mais eficientes, visando aumentar a provisão de alimentos para atender à explosão demográfica mundial que vinha se consolidando àquela época (BAIRD, 2002; VEIGA *et al.*, 2006).

Após um lento desenvolvimento tecnológico, houve a introdução dos primeiros pesticidas químicos modernos. O primeiro deles foi o inseticida organoclorado para-diclorodifeniltricloroetano (DDT), introduzido pelos aliados durante a Segunda Guerra Mundial, para controlar as deflagrações de doenças como tifo e malária. Assim, salvou milhões de vidas por meio do controle dos vetores de doenças. Após a guerra, o DDT foi utilizado amplamente para fins agrícolas, contribuindo para o aumento da produtividade. O uso indiscriminado deste produto trouxe maiores riscos à saúde humana e ao meio ambiente,

e, em certos casos, os impactos negativos gerados foram maiores do que os benefícios associados aos seus ganhos de produtividade (BAIRD, 2002; SPIRO; STIGLIANI, 2009; VEIGA *et al.*, 2006). O DDT começou a perder a eficácia devido ao aumento da resistência dos insetos, e seu uso começou a declinar por volta de 1960 (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Originalmente, os agrotóxicos eram estáticos, possuíam baixa solubilidade e tinham um forte poder de adesão ao solo, sendo por isso mais persistentes. Quando a comunidade científica passou a conhecer melhor os mecanismos de atuação destes compostos organoclorados e seus efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente, sua utilização começou a ser substituída gradativamente por produtos inibidores da acetilcolinesterase, como organofosforados e carbamatos (VEIGA *et al.*, 2006). Com as inovações tecnológicas, muitos produtos passaram a ser mais solúveis em água, se comparados aos primeiros, possuir baixa capacidade de adesão, ser mais voláteis e menos persistentes. Surgiram produtos cada vez mais tóxicos e eficientes para combater as pragas, porém sendo maior o seu potencial nocivo à saúde humana (BAIRD, 2002; VEIGA *et al.*, 2006).

A legislação brasileira que estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade é a Portaria do Ministério da Saúde MS/GM 2.914/2011 (BRASIL, 2011), que revogou a Portaria MS/GM 518/2004 (BRASIL, 2004). A atual norma define também os limites máximos permitidos para 27 agrotóxicos, em águas utilizadas para abastecimento. Em função dos avanços tecnológicos e novos produtos utilizados, ela incluiu 11 novos parâmetros que não eram mencionados na antiga Portaria, como: Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido; Carbendazin + Benomil; Carbofurano; Clorpirifós + Clorpirifós-oxon; Diuron; Mancozebe; Metamidofós; Parationa metílica; Profenofós; Tebuconazol; Terbufós. Também fez a exclusão de 4 parâmetros: Bentazona; Metoxicloro; Pentaclorofenol; Propanil (BRASIL, 2011).

#### 3.1.4.2 Características e efeitos dos agrotóxicos nos organismos

Há uma diversidade de compostos orgânicos tóxicos sendo lançados no meio ambiente, contaminando diversos compartimentos dos ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como os organismos que neles habitam. Os pesticidas, por exemplo, são substâncias que podem matar diretamente um organismo indesejável ou controlá-lo de alguma maneira, interferindo em seu processo reprodutivo. Todos têm a propriedade de bloquear um processo metabólico vital dos organismos para os quais são tóxicos. Existem várias classes de

pesticidas, como por exemplo: acaricida, algicida, raticida, bactericida, desinfetante, inseticida, fungicida, herbicida, dentre outros (BAIRD, 2002).

Desde sua introdução, os pesticidas tem sido um problema, devido ao seu impacto potencial para a saúde humana e o meio ambiente. Um dos motivos para seu uso, inicialmente foi no combate a doenças como malária, febre amarela, peste bulbônica e doença do sono. Outra razão fundamental é a sua utilização nas lavouras, visto que cerca de um terço das plantações do mundo é destruída por pragas ou ervas daninhas (BAIRD, 2002).

Dentre os diversos tipos de pesticidas, destaca-se:

a) Inseticidas organoclorados

Nos anos de 1940 e 1950, foram produzidas grandes quantidades de inseticidas organoclorados no ambiente. As vantagens destes produtos eram a estabilidade contra a biodegradação, solubilidade muito baixa em água, alta solubilidade em meios gordurosos da matéria viva, e toxicidade alta para insetos, mas baixa para seres humanos. Um exemplo clássico é o DDT. Sua persistência no ambiente o tornou um inseticida ideal, porém causou grandes estragos ambientais (persiste no solo por vários anos, podendo biomagnificar na cadeia alimentar)<sup>8</sup> (BAIRD, 2002).

Os organoclorados bioacumulam em sistemas biológicos, ou seja, se acumulam nos organismos vivos e bioconcentram, pois as concentrações encontradas nos organismos são maiores do que no meio em que vivem. Alguns deles também apresentam a biomagnificação, pois vão se acumulando ao longo da cadeia alimentar. Como exemplo, Baird (2002) cita que a concentração de DDT na água marinha de *Long Island Sound* (EUA) e nas águas protegidas de sua costa sul é de cerca de 0,000003 ppm, mas que atinge 0,04 ppm no plâncton, 0,5 ppm na gordura de vairões, 2 ppm nos peixes-agulha e 25 ppm na gordura de cormorões e águias que se alimentam de peixes, perfazendo um total de cerca de 10.000.000 referentes à biomagnificação. A maior parte da ingestão humana de tais produtos é via alimentação, e não

---

<sup>8</sup> Nos Estados Unidos, após várias audiências legais promovidas por consultores jurídicos e cientistas, que trabalhavam para o *Environmental Defense Found*, o DDT teve seu uso proibido ou severamente restrito na maioria dos estados. Em 1973, a Agência de Proteção Ambiental “*Environmental Protection Agency*” (EPA) proibiu todos os usos do DDT, exceto os indispensáveis para a saúde pública. Ele ainda é empregado em alguns países em desenvolvimento para controlar doenças ou combater insetos agrícolas (BAIRD, 2002). No Brasil, o DDT teve sua retirada do mercado em duas etapas: em 1985, teve a sua autorização para o uso cancelada para fins agrícolas, porém continuou liberado para o controle de doenças, como a dengue e a malária; em 1998, foi proibido para uso em campanhas de saúde pública (ANVISA, 2009). Somente em 2009, foi banido completamente, através da Lei Federal 11.936. Esta lei proibiu no país “a fabricação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloreto (DDT)”, sendo dado um prazo de trinta dias para a incineração de todos os estoques deste pesticida espalhados pelo Brasil, a contar da data de sua publicação (BRASIL, 2009).

pela água, por causa da biomagnificação que os organoclorados apresentam (BAIRD, 2002), devido ao consumo de carnes e peixes.

Alguns exemplos de pesticidas organoclorados são Hexaclorobenzeno (HCB), DDT, Toxafeno, Dieldrin, Mirex, Malation, Paration e Atrazina, dentre outros (BAIRD, 2002).

b) Inseticidas à base de organofosforados e carbamatos

Os inseticidas à base de **organofosforados** são do tipo não-persistente, representando um avanço sobre os organoclorados neste aspecto. Porém, eles apresentam geralmente um efeito tóxico mais agudo para os seres humanos e outros mamíferos. Muitos representam um grave risco para a saúde daqueles que os aplicam e para qualquer pessoa que possa entrar em contato com eles, seja por inalação, ingestão ou absorção através da pele. Estes produtos concentram-se no tecido adiposo, assim como os organoclorados. Por outro lado, decompõem-se em dias ou semanas, sendo raramente encontrados nas cadeias alimentares. Todos apresentam um átomo de fósforo na estrutura. Exemplos de organofosforados: Diclorvos, Malation (spray anti-moscas), Diazinon, Clorpirifos, Paration<sup>9</sup>, dentre outros. Eles são tóxicos para os organismos porque inibem enzimas de seu sistema nervoso, interrompendo a comunicação entre as células. Através do átomo de fósforo, eles se ligam seletivamente a enzimas, cuja função é destruir a acetilcolina (BAIRD, 2002).

O modo de ação dos inseticidas baseados em carbamatos é similar ao dos organofosforados, diferenciando-se pelo fato de ser um átomo de carbono, e não de fósforo, que ataca a enzima destruidora de acetilcolina nos organismos alvo. Também têm vida curta no ambiente porque reagem com a água, decompondo-se em produtos simples não tóxicos. Sua toxicidade dérmica é baixa. Alguns exemplos são Carbofurano, Carbaril e Aldicarb, dentre outros (BAIRD, 2002).

Os organofosforados e carbamatos resolvem o problema da persistência e acumulação ambientais associadas aos organoclorados, mas à custa de um aumento significativo na toxicidade aguda para seres humanos e animais. Ambos começaram a ser usados na década de 50. Eles constituem um sério problema nos países em desenvolvimento, onde a ignorância sobre os seus riscos e deficiências no uso de roupas protetoras e equipamentos de proteção individual, tem resultado em muitas mortes entre os trabalhadores (BAIRD, 2002).

---

<sup>9</sup> Paration: responsável por mais mortes de trabalhadores agrícolas do que qualquer outro pesticida; como não é específico para insetos, pode matar pássaros e outros organismos que não constituem seu alvo. Atualmente está proibido em alguns países industrializados, mas ainda é amplamente usado em países em desenvolvimento (BAIRD, 2002).

c) Herbicidas modernos à base de triazinas

O exemplo mais comum é a Atrazina, introduzida em 1958, sendo utilizada em enormes quantidades para destruir ervas daninhas em lavouras de milho e soja. Atua bloqueando o processo de fotossíntese. Persiste no solo durante alguns meses e é degradada aos poucos por microrganismos. Mas, ao atingir um corpo d'água, sua meia vida é da ordem de anos. É moderadamente solúvel em água, e durante as fortes chuvas é facilmente escoada pelo solo podendo atingir os ecossistemas aquáticos. A EPA incluiu a Atrazina como possível agente carcinógeno humano. Outras triazinas com usos similares são a Simazina e o Metribuzin (BAIRD, 2002). Em algumas regiões, a Atrazina vem sendo substituída pelo Metolaclor, que se degrada mais rapidamente nos terrenos (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

d) Outros herbicidas orgânicos

Em algumas regiões onde a soja e o milho têm sido cultivados extensivamente, a Atrazina tem perdido sua posição para as cloroacetamidas, derivadas do ácido cloroacético. O herbicida mais comum é o Alaclor, que foi proibido no Canadá por ser considerado de risco à saúde, sendo substituído pelo Metolaclor. O Alaclor é carcinógeno em animais e suspeita-se que o Metolaclor também seja. A EPA tem proposto que o uso de Alaclor, Metolaclor, Atrazina e Simazina sejam cuidadosamente administrados nas áreas em que se praticam seu uso extensivo, pois representam um risco significativo para os lençóis freáticos. Sabe-se que o Metolaclor se degrada no ambiente pela ação da luz solar e da água (BAIRD, 2002).

O glifosato é um herbicida do grupo dos fosfonatos, que são compostos similares aos organofosforados. É amplamente utilizado e não é tóxico, tendo em vista seus altos valores de LD<sub>50</sub>, tanto para via de exposição oral como dérmica (BAIRD, 2002).

e) Herbicidas do tipo fenóxi

Dentre estes tipos de produtos, os mais conhecidos são:

- 2,4,5-T (ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético): introduzido em 1944, é efetivo para eliminar vegetação às margens de estradas e em caminhos de passagem de fios de alta tensão (BAIRD, 2002).
- 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético): usado para eliminar ervas daninhas de folhas largas em gramados e campos; também usado em aplicações domésticas e agrícolas. No meio oeste dos Estados Unidos, tem se encontrado maior incidência de câncer de linfoma entre os agricultores que misturam e aplicam grandes quantidades de 2,4-D

em suas plantações (BAIRD, 2002). É conhecido por sua ampla utilização em todo o mundo, sendo o principal componente do agente laranja<sup>10</sup>, muito usado na guerra do Vietnã. Embora o produto seja comercializado desde a década de 40, existem, ainda hoje, lacunas de informações relativas aos efeitos à saúde humana e riscos ao ambiente (AMARANTE JUNIOR *et al.*, 2003).

É importante enfatizar que existe, ainda hoje, muita controvérsia com relação aos efeitos tóxicos crônicos dos pesticidas para o ser humano, principalmente quando consumidos em baixas doses ao longo de toda uma vida (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001).

---

<sup>10</sup> Agente Laranja é uma mistura dos dois herbicidas: 2,4-D e 2,4,5-T (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção será abordada a caracterização da área de estudo e a metodologia das análises realizadas

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As características do município de Juiz de Fora, da Represa Dr. João Penido e dos pontos de amostragem estão apresentadas a seguir.

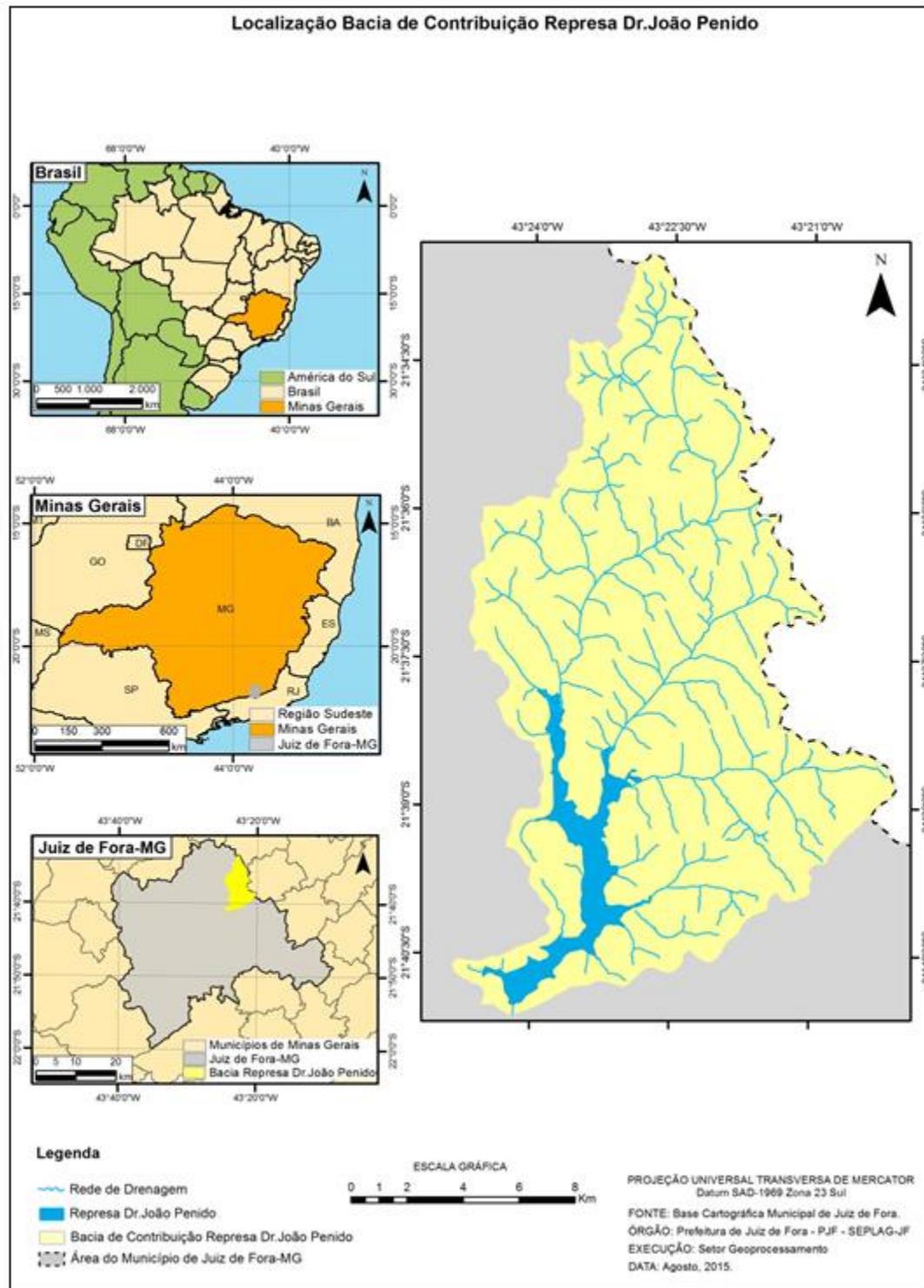
#### 4.1.1 Município de Juiz de Fora

##### **Localização**

Juiz de Fora é o principal município da Zona da Mata e situa-se na região Sudeste do estado de Minas Gerais. Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas 21°41'20" (S) e 43°20'40" (W). Possui uma área total de 1.429,875 km<sup>2</sup> (JUIZ DE FORA, 2009) e população de 516.247 habitantes (IBGE, 2010), sendo classificada como uma cidade de porte médio no cenário nacional.

A Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido possui área aproximada de 68 Km<sup>2</sup> e está inserida na Sub-bacia do Ribeirão dos Burros, ao norte da área urbana do município. A região urbana na qual está inserido o manancial possui baixíssimo índice de adensamento e segundo a base de dados do censo demográfico realizado em 2000, contava com uma população de 673 habitantes, área bruta de 7.294,73 ha e área líquida de 353,79 ha. Apresentava densidade bruta de 0,09 habitante/ha e densidade líquida de 1,90 habitante/ha (JUIZ DE FORA, 2009). A localização da bacia de contribuição da Represa Dr. João Penido no município de Juiz de Fora, em Minas Gerais e no Brasil está apresentada no mapa 1.

**Mapa 1** – Localização da bacia de contribuição da Represa Dr. João Penido, inserida no município de Juiz de Fora (Minas Gerais, Brasil).



Fonte: Juiz de Fora (2015c)

A região possui características rurais e é formada em sua maioria, por granjas, sítios e fazendas, cuja economia informal e de subsistência provém de atividades hortigranjeiras e

criação de animais. Existem na área alguns loteamentos irregulares e carentes de infraestrutura. Embora contenha o manancial, a região urbana não possui rede de água e as famílias utilizam água de poços, inclusive artesianos. Também não existe rede de esgotos, sendo utilizados métodos rudimentares para destino final dos dejetos (JUIZ DE FORA, 2004), além de fossas sépticas.

A Represa Dr. João Penido está inserida entre as coordenadas geográficas 21° 41' 14" (S) e 43° 24' 18" (W) e possui altitude aproximada de 700 metros em relação ao nível do mar (CESAMA, 2011). Suas margens, que deveriam ser preservadas, são ocupadas de forma irregular por diversas chácaras e sítios com casas de veraneio, além de inúmeras residências de médio/alto padrão de habitação. A ausência de áreas florestadas é agravada pelo desmatamento nas proximidades da represa. De acordo com a Prefeitura de Juiz de Fora (JUIZ DE FORA, 2004), as áreas de mata correspondem a 10,7 % desta região urbana.

As características do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica Dr. João Penido, podem ser observadas através do mapa apresentado no Anexo A.

### **Hidrografia**

O município de Juiz de Fora está contido na Bacia do Médio Paraibuna, que pertence à Bacia do Rio Paraíba do Sul. O perímetro urbano é drenado por 156 Sub-bacias de diversas dimensões e possui abundância de recursos hídricos. Os principais rios são: Paraibuna e seus afluentes, Peixe e Cágado (JUIZ DE FORA, 2009).

A Represa Dr. João Penido é o principal manancial de água potável do município e pertence à Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, denominada Ribeirão dos Burros (BE 34, Anexo B), nome dado também ao seu principal tributário. Outros afluentes importantes que também formam a represa são o Córrego Grama e Córrego Vista Alegre (CESAMA, 2011).

### **Clima**

O clima do município apresenta duas estações bem definidas: uma, que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores índices pluviométricos, e outra de maio a setembro, que se caracteriza por ser mais fria e com menor presença de chuvas. O clima da região, de acordo com a classificação de W. Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico com verões quentes e úmidos. Este clima também pode ser classificado genericamente como tropical de altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, tendo em vista o relevo local, que contribui para a amenização das temperaturas.

Em áreas mais afastadas do centro urbano e que apresentam maior altitude, o clima tende para mesotérmico do tipo Cwb, com verões mais brandos (JUIZ DE FORA, 2004).

Os verões apresentam altos índices de calor e umidade, com a presença de chuvas do tipo convectivas, acompanhadas de elevadas e concentradas precipitações pluviométricas (JUIZ DE FORA, 2004). De acordo com a Prefeitura de Juiz de Fora, de 1999 a 2008, a temperatura média anual variou de 18,7 a 20,0°C e a precipitação média anual variou de 1.337,5 a 2.130,9 mm. Neste referido período, o mês mais quente foi predominantemente fevereiro e o mais frio, julho (JUIZ DE FORA, 2009). Os índices pluviométricos referentes à área de estudo foram registrados na EPRJP (Apêndice A). No período observado referente às campanhas de amostragem deste estudo, o mês de maior precipitação foi janeiro de 2012 e o de menor, julho de 2012.

### **Vegetação**

O município está enquadrado na região fitoecológica denominada Floresta Estacional Semidecidual, típica de climas com duas estações bem definidas. Este ecossistema caracteriza-se por possuir um percentual de espécies, que varia entre 20 e 50 %, que não permanecem verdes e perdem folhas durante o inverno (JUIZ DE FORA, 2004).

A mata original ocupava áreas mais férteis e coexistia com campos naturais. No perímetro urbano, foi completamente dizimada para o cultivo de café e criação de gado, sendo substituída por pastagens e capoeiras<sup>11</sup>, que hoje são o aspecto dominante. Portanto não existem quaisquer vestígios de florestas originais remanescentes. Da tradicional Zona da Mata Mineira, nome dado para a região por apresentar predomínio de revestimento natural de Mata Atlântica<sup>12</sup>, sobraram apenas algumas manchas de florestas secundárias rejuvenescidas (JUIZ DE FORA, 2004). Na porção sul da represa, próximo à Estação de Tratamento de Água (ETA), existem alguns fragmentos de floresta secundária, denominada “Mata da Represa Dr. João Penido”. Possui dimensão aproximada de 62,1 ha e foi definida no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município, como Área de Especial Interesse Ambiental com a função de equilíbrio ecológico e proteção da represa (JUIZ DE FORA, 2004; 2009).

---

<sup>11</sup> Capoeira: estágio médio de regeneração das florestas secundárias, onde as árvores atingem altura média de 12 metros e diâmetro em torno de 15 centímetros (SCHÄFFER; PROCHNOW, 2002).

<sup>12</sup> O bioma Mata Atlântica, com seus 7,84 % remanescentes e que se estende ao longo da costa brasileira, compreende um conjunto de formações florestais e ecossistemas associados que incluem: Floresta Ombrófila (Densa, Mista e Aberta), Floresta Estacional (Semidecidual e Decidual), manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (SCHÄFFER; PROCHNOW, 2002).

Observando o mapa de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido (Anexo A), nota-se que existem poucos fragmentos de mata em alguns pontos isolados da bacia e as áreas de agricultura (maior parte de hortaliças e legumes) restringem-se à porção leste do manancial. Existem áreas edificadas em suas margens (APPs), contribuindo para comprometer a qualidade da água. Fato que chama a atenção é a predominância de áreas de pasto, formadas por vegetação rasteira e gramíneas. Existe solo exposto a leste e ao norte da represa. Mas, ao percorrer as regiões da bacia, observam-se movimentos de terra e erosões em vários pontos, inclusive às margens da represa e dos seus afluentes, que não possuem mata ciliar em quase toda a sua extensão. Também podem ser observadas áreas destinadas a criações de animais e pequenas hortas familiares com cultivos diversos, o que não é adequado para um manancial de abastecimento. Estas características do uso e cobertura da terra interferem na qualidade hídrica do ecossistema, tornando-o frágil e desprotegido.

Nas áreas próximas às entradas dos afluentes, nos braços da represa e em algumas regiões do espelho d'água, existe grande quantidade de macrófitas aquáticas, sendo que várias espécies foram identificadas no trabalho desenvolvido por Bucci (2011). Predominam os vegetais conhecidos popularmente como “Taboa” e “Aguapé”, típicos de ambientes que apresentam características de eutrofização.

### **Características geológicas e geomorfológicas**

Os termos geológicos e pedológicos grafados a seguir **em negrito** estão definidos no Glossário de termos geológicos e pedológicos, ao fim deste trabalho.

O município de Juiz de Fora está localizado na Unidade Serrana da Zona da Mata, pertencente à região Mantiqueira Setentrional do Estado de Minas Gerais (JUIZ DE FORA, 2004). É região de antigas rochas que armazenam minerais básicos com ocorrências de quartzo, feldspato e mica. Também pode ser encontrado caulim, argila com teor de ferro, ametista, talco e águas minerais (JUIZ DE FORA, 2009).

Dentro do perímetro urbano, existem dois grandes compartimentos geológicos distintos: ao norte, os terrenos são ocupados pelo Complexo Mantiqueira e ao sul, pelas rochas antigas do Complexo Juiz de Fora (Anexo C).

O Complexo Juiz de Fora possui um relevo mais acidentado e aspecto serrano (JUIZ DE FORA, 2004). Segundo Ebert (1955 apud DUARTE; HEILBRON; NETO, 2000), é formado por **paragnaisses** com fácies de **paragênese granulíticas**, característico do sudeste de Minas Gerais. Suas rochas possuem tons esverdeados ou marrons e possuem composições químicas que variam de ácidas a básicas (DUARTE; HEILBRON; NETO, 2000).

O Complexo Mantiqueira, unidade geológica na qual está inserida a Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido, apresenta **relevo dissecado**, variando de plano a suavemente ondulado, com topos alongados e estreitos, além de rios com vales mais abertos (JUIZ DE FORA, 2004). Barbosa (1954 apud QUEIROGA; SOARES, 2010) utilizou o termo “Série Mantiqueira” para denominar uma unidade composta por **gnaisse bandados**, com intercalação de rochas xistosas, básicas e metabásicas, aflorante a sul e a leste da Serra do Espinhaço Meridional.

Através do mapa contido na obra de Rocha (2006) (Anexo C), observa-se que a região do entorno do manancial em estudo apresenta as seguintes unidades litológicas:

- 1<sup>a</sup>) **Sedimentos Fluviais e Coluviais** Cenozoicos;
- 2<sup>a</sup>) **Sillimanita-Granada-Biotita Gnaise, Rocha Calcissilicática, Anfibolito e Gondito**;
- 3<sup>a</sup>) Complexo Mantiqueira: **Homblenda-Biotita Ortognaisse Tonalítico a Granítico, Rocha Anfibolítica**;
- 4<sup>a</sup>) **Biotita Gnaise Bandado**.

Esta caracterização geológica reflete na composição química natural da água da represa.

### **Pedologia**

Os solos do município são predominantemente os **Latossolos Vermelho-Amarelos Álicos e Distróficos**, mas existem também na região **Cambissolos** e **Neossolos Litólicos Distróficos**. Além desses, são encontrados também os **Gleissolos** e os **Solos Aluviais** (ROCHA, 2006). A Prefeitura de Juiz de Fora cita que nas porções de várzea do município sujeitas a inundações, são encontrados também **solos aluviais** e **glei** pouco húmico (JUIZ DE FORA, 2004).

De acordo com a Base Cartográfica Municipal (JUIZ DE FORA, 2015d), podem ser encontradas na Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido (Anexo D), as seguintes classes de solos<sup>13</sup>: **LVAd59 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico)** e **LAd4 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico)**, ou seja, **latossolos** e **cambissolos**. As características e definições destes solos encontram-se no Glossário de termos geológicos e pedológicos.

Na região da bacia hidrográfica em estudo, a erosão pluvial e o escoamento superficial são comuns em função do relevo dissecado, e o intemperismo é favorecido pela natureza dos

---

<sup>13</sup> Nomenclatura de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2009b).

solos (latossolos e cambissolos). A situação é agravada pela ausência de áreas florestadas e mata ciliar na represa e em seus tributários, ficando mais comprometida nos períodos de maior pluviosidade. Todos estes fatores refletem diretamente na qualidade da água.

### **Relevo**

A topografia do município é montanhosa, com altitudes médias entre 700 e 900 metros (JUIZ DE FORA, 2004), variando de 1.000 metros nos pontos mais elevados a 650 metros no leito do rio principal que corta o município (rio Paraibuna). A região está inserida no domínio pedobioclimático de “Mar de Morros”, apresentando formas com topos suavemente aplainados e vertentes convexas (LAWALL; COSTA; ROCHA, 2006). Este domínio corresponde à área de mais profunda decomposição das rochas e de máxima presença de mamelonização topográfica em caráter regional de todo o país (AB’ SABER, 2005). Os tipos de relevo predominantes na área urbana são colinas, morrotes baixos, médios e altos, morros baixos, morros altos, planícies aluvionares, serras e escarpas (JUIZ DE FORA, 2004).

De acordo com a Base Cartográfica Municipal, na região da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido, predominam os relevos “ondulado”, “forte ondulado” e “montanhoso”, característicos das classes de solo LVAd59 e LAd4 (Anexo D) (MINAS GERAIS, 2010).

Segundo Souza *et al.* (2005), a avaliação da declividade é de fundamental importância na determinação da fragilidade ambiental da área, pois ela nos fornece noções sobre o comportamento do relevo, além de ser um indicativo dos processos erosivos, riscos de deslizamento e inundação. O mapa de declividade da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido está apresentado no Anexo E. A bacia de contribuição apresenta quase 60% das terras com declividades superiores a 15%, ou seja, relevo de "forte ondulado" a "montanhoso", o que mostra o quanto a área é vulnerável à ocorrência de processos erosivos, e o quanto necessita de proteção dos solos por cobertura vegetal. As áreas de maior declividade são as que apresentam maior cobertura por gramíneas e áreas de pastagem, que não proporcionam grande proteção aos impactos erosivos das chuvas e ainda são mais susceptíveis à ocorrência de queimadas. São estas áreas (combinando declividade, solos e cobertura do solo), aquelas que mais necessitam de ações de proteção prioritária. Por outro lado, as áreas de menor declividade, menos sujeitas aos processos erosivos, por exemplo, são as que se encontram ocupadas, regular ou irregularmente, o que "anula" os efeitos benéficos da baixa declividade.

#### 4.1.2 Represa Dr. João Penido

A Represa Dr. João Penido foi construída em 1934 para fins de abastecimento público do município de Juiz de Fora, com volume aproximado de 16.000.000.000 litros de água. A barragem tem 80,0 metros de comprimento e 11,5 metros de altura. O ecossistema caracteriza-se por ser um ambiente raso e possui vazão regularizada de 750 L/s (CESAMA, 2011). De acordo com a última batimetria realizada em 1985, o volume de água armazenada é de aproximadamente 14.094.000.000 litros (LEME, 1985). Acredita-se que, atualmente, este volume é bem menor<sup>14</sup> devido aos processos de assoreamento, eutrofização e degradação que o sistema vem sofrendo, inclusive com o desaparecimento do nível de água em dois braços da represa, situação crítica ocorrida em 2014 (fotografias 2, 3, 5 e 6, do item 1.1 deste estudo).

As características morfométricas da represa podem ser observadas na tabela 2.

**Tabela 2 - Características morfométricas da Represa Dr. João Penido**

<b>Característica</b>	<b>Dimensão</b>
Comprimento máximo	7,25 km
Largura máxima	1,70 km
Profundidade máxima	10,90 m
Profundidade média	6,53 m
Área de superfície	3,72 km <sup>2</sup>
Perímetro	17,80 km

**Fonte:** CESAMA (2011).

#### 4.1.3 Pontos de amostragem

Foi definido um programa de monitoramento, levando-se em conta a morfologia do reservatório e a proximidade dos pontos amostrados com as três zonas que o compõe, ao longo de seu eixo longitudinal (zonas fluvial, intermediária e lacustre), definindo-se cinco pontos amostrais, conforme pode ser visto na fotografia 8.

Os pontos P1 e P2 são os mais próximos à zona fluvial da represa, ou seja, à entrada dos principais afluentes denominados Córrego Grama e Ribeirão dos Burros, respectivamente. Durante o período deste estudo<sup>15</sup> compreendido entre 2011 e 2014 observou-se que estas

<sup>14</sup> Em 25/01/2015, o Jornal “Tribuna de Minas” divulgou que, segundo informações da CESAMA, a Represa Dr. João Penido estava com 30% de sua capacidade (4.800.000 m<sup>3</sup> de água) e que sua vazão poderia ser reduzida para 250 L/s (VALENTE, 2015).

<sup>15</sup> Cabe ressaltar que em outubro de 2014 a situação desta região da represa tornou-se bem diferente, onde o espelho d’água desapareceu.

regiões são caracterizadas por infestação de macrófitas aquáticas de diversas espécies. Isso também foi constatado por Bucci (2011) entre 2009 e 2011, indicando prováveis contaminações por esgoto doméstico e indícios de eutrofização do manancial. Não foram observadas plantas aquáticas nos demais pontos de amostragem, apenas em algumas regiões de suas respectivas margens. O ponto P3 ainda sofre influência do influxo dos afluentes citados, e também do Córrego Vista Alegre e o P4 encontra-se nas proximidades da zona intermediária. O ponto P5 localiza-se próximo à zona lacustre da represa, ou seja, à barragem e à ETA.

**Fotografia 8** - Ortofoto do voo aerofotogramétrico datada de 2007, indicando os cinco pontos de amostragem na Represa Dr. João Penido.



**Fonte:** JUIZ DE FORA. Prefeitura. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico (SPDE) (2007).

A tabela 3 apresenta a localização, altitude e profundidade aproximada dos pontos de amostragem ao longo da Represa Dr. João Penido.

**Tabela 3** - Localização, altitude e profundidade aproximada dos pontos de amostragem

Ponto	Região aproximada da represa	Coordenadas geográficas UTM Datum SAD 69		Altitude (m)	Profundidade aproximada (m)
		Latitude (S)	Longitude (W)		
P1	Zona fluvial	21° 38' 47,2"	43° 23' 11,3"	754,0	3,5
P2	Zona fluvial	21° 38' 40,0"	43° 23' 46,2"	754,0	3,5
P3	Zona fluvial	21° 39' 24,6"	43° 23' 23,5"	752,7	5,0
P4	Zona intermediária	21° 40' 02,1"	43° 23' 17,8"	751,9	6,0
P5	Zona lacustre	21° 40' 50,8"	43° 24' 05,7"	745,5	9,5

Fonte: o autor

## 4.2 METODOLOGIA

Neste estudo, procurou-se obter o maior número de dados e informações possíveis sobre a avaliação da qualidade da água da Represa Dr. João Penido. Assim, foram realizadas análises que envolveram diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em amostras de água, que foram utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET), bem como a análise de metais e agrotóxicos.

Foram realizadas quatro campanhas para caracterizar o período chuvoso e quatro para o período de estiagem, totalizando oito campanhas de amostragem<sup>16</sup>, entre 2011 e 2013. Os trabalhos de campo foram realizados com o auxílio do barco da Quarta Companhia de Polícia Militar Independente de Meio Ambiente e Trânsito (4ª Cia PM Ind MAT), parceiros deste projeto.

### 4.2.1 Procedimentos de coleta

As técnicas de coleta e amostragem seguiram o preconizado na NBR 9898 (ABNT, 1987) e no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998),

<sup>16</sup> As datas de coleta de amostras foram:

Estação seca: 27/07/2011; 25/08/2011; 18/07/2012; 16/08/2012.

Estação chuvosa: 27/10/2011; 28/03/2012; 21/11/2012; 14/03/2013.

considerando sempre a preservação e o volume da amostra, bem como o prazo para realização da análise.

Toda a frascaria destinada à coleta e armazenamento das amostras para análise de metais e agrotóxicos foi previamente preparada e enviada pelo Laboratório Bioagri - *A Mérieux NutriSciences Company* (unidade de Piracicaba – SP), com antecedência às campanhas. Foram utilizados frascos de polietileno “virgens” de 100 mL para o armazenamento das amostras, sempre validados no processo de compra pelo laboratório. Todos os frascos destinados à análise de metais e agrotóxicos já continham como preservante, respectivamente, 2 gotas de HNO<sub>3</sub> a 20 % (suficiente para pH < 2,0) e 1 gota de Ácido Etileno Diamino (EDA<sup>17</sup>). As amostras ambientais foram coletadas em frascos âmbar de 1 L (“virgens”) e transferidas cuidadosamente para os referidos frascos preparados. As amostras destinadas à análise de metais dissolvidos foram filtradas em campo, utilizando seringas (50 mL) acopladas a filtros *Millipore Millex* de 45 µm, e colocadas diretamente em frascos virgens de 100 mL, que já continham o preservante, conforme descrito anteriormente.

No momento da coleta, os frascos âmbar mencionados, bem como todos aqueles destinados às outras análises físico-químicas e microbiológicas foram lavados com a água do local por três vezes (ambientação), retirando-se a amostra de água aproximadamente a 10 cm abaixo da superfície, com a boca do frasco voltada contra a corrente. Os frascos foram preenchidos com a água da represa deixando-se apenas um pequeno espaço vazio para a homogeneização. Todas as amostras foram mantidas em caixas de isopor com gelo (temperatura aproximadamente 4° C) até a chegada aos laboratórios.

As outras amostras destinadas às análises físico-químicas e microbiológicas foram coletadas diretamente em frascos de polietileno de 500 mL, previamente ambientados com a água do local por três vezes, conforme procedimento descrito anteriormente.

#### **4.2.2 Metodologia de análise**

Neste estudo, procurou-se obter o maior número de dados e informações possíveis sobre a avaliação da qualidade da água da Represa Dr. João Penido. Assim, foram realizadas análises referentes a diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, que foram

---

<sup>17</sup> EDA é um preservante de ânions (como bromato, clorito, dentre outros), sendo utilizado quando as amostras ambientais possuem outras espécies capazes de degradá-los, como o ferro por exemplo.

utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET). Foi feita também a investigação sobre a presença de metais e agrotóxicos na água.

As análises da água bruta foram realizadas nos laboratórios abaixo discriminados, considerando a logística disponível, parcerias feitas e a tentativa de se obter o maior número possível de dados para o estudo de caracterização das águas da represa (tabela 4).

**Tabela 4** - Parâmetros analisados e laboratórios responsáveis

<b>Parâmetro analisado</b>	<b>Laboratório responsável</b>
Metais e agrotóxicos	Laboratório Bioagri - A <i>Mérieux NutriSciences Company</i> (unidade Piracicaba, SP)
Coliformes totais e termotolerantes	Laboratório de Análises de Alimentos e Águas (UFJF)
Clorofila <i>a</i> , PT, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NT ST, DBO, cor, turbidez, condutividade	Laboratório de Ecologia Aquática (UFJF) Laboratório Acqualab Monitoramento Ambiental (Juiz de Fora, MG)

**Fonte:** o autor

Todos os parâmetros mencionados acima foram analisados de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). As análises de coliformes, metais e agrotóxicos foram complementadas com outras metodologias (SILVA *et al.*, 2005; USEPA, 1996; USEPA, 2007a; USEPA, 2007b), conforme demonstra o quadro 2.

<b>Quadro 2 - Parâmetros analisados e suas respectivas metodologias</b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de Ensaio</b>
Temperatura	°C	APHA (1998) 2550
pH	1 – 14	APHA (1998) 4500 H <sup>+</sup>
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	APHA (1998) 4500 - O G
Condutividade elétrica	µS/cm*	APHA (1998) 2510
Cor	U Pt	APHA (1998) 2120- C
Turbidez	UNT**	APHA (1998) 2130
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	APHA (1998) 5210 B
Sólidos Totais (ST)	mg/L	APHA (1998) 2540 B
Nitrogênio total (NT)	mg/L	APHA (1998) 4500 - N B
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	APHA (1998) 4500 - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> E
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	µg/L	APHA (1998) 4500 - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B
Amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	APHA (1998) 4500 - NH <sub>3</sub> F
Fósforo total (PT)	mg/L	APHA (1998) 4500 - P E
Clorofila <i>a</i>	µg/L	APHA (1998) 10200 H
Coliformes totais e termotolerantes	NMP/100 mL***	APHA (1998); SILVA <i>et al.</i> (2005)
Metais: Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn, Mn, Fe, Na, K e Ca	mg/L	APHA (1998) 3125 B; USEPA (2007a) 6020A
Agrotóxicos (Portarias MS/GM 518/2004 e MS/GM <sup>18</sup> 2.914/2011)	µg/L	APHA (1998) 6410 B; USEPA (1996) 3510C; USEPA (2007b) 8270D

**Fonte:** o autor

Nota: Sinais convencionais utilizados:

\* µS/cm: Micro siemens por centímetro;

\*\* UNT: Unidade Nefelométrica de Turbidez;

\*\*\* NMP: Número mais provável.

Em campo, durante as coletas, foram medidos os parâmetros pH, temperatura (ar e água) e OD, utilizando equipamentos portáteis (Tabela 5).

O pH, OD e condutividade elétrica foram medidos por potenciometria, método eletrométrico (eletrodo de membrana) e condutivimetria; cor e turbidez, por colorimetria e nefelometria, respectivamente. Estes parâmetros, bem como a temperatura, foram medidos diretamente nos equipamentos/instrumentos cedidos pelo Laboratório Acqualab Monitoramento Ambiental (Tabela 5), que acompanhou as campanhas de amostragem.

<sup>18</sup> A Portaria MS/GM 2.914/2011 (BRASIL, 2011) revogou a Portaria MS/GM 518/2004 (BRASIL, 2004). Nas três primeiras campanhas deste trabalho (julho, agosto e outubro de 2011), foram analisados os parâmetros referentes a agrotóxicos contidos na Portaria MS/GM 518/2004 (BRASIL, 2004), que estava em vigor àquela época. No restante das campanhas, as análises dos parâmetros foram realizadas de acordo com a nova Portaria.

**Tabela 5** - Equipamentos utilizados nas medições

<b>Parâmetro</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Temperatura	Termômetro	Incoterm	Coluna de Hg
pH	Peagâmetro	Quimis	G400BC-3
OD	Oxímetro	Instrutherm	MO-900
Condutividade	Condutivímetro	ICEL	WT 3000
Turbidez	Turbidímetro	HANNA	HI 93703
Cor	Colorímetro	HANNA	HI 93727

**Fonte:** Adaptação dos dados fornecidos pelo Laboratório Acqualab Monitoramento Ambiental.

Para determinação de ST, foi utilizado o método do aquecimento das amostras a 103 – 105 °C.

A DBO foi realizada pelo método da diluição e incubação a 20° C, por 5 dias.

O NT foi determinado somando-se as partes orgânica e inorgânica do nitrogênio. A fração orgânica foi determinada pelo método de Kjeldahl, subtraindo-se as concentrações de amônio. Os íons  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_4^+$  foram determinados pelos métodos da coluna de cádmio, ácido fosfórico e fenol respectivamente.

A análise do PT foi feita utilizando-se a metodologia do ácido ascórbico, após digestão com persulfato de potássio.

No ensaio dos coliformes, utilizou-se o método de fermentação em tubos múltiplos, que determina o Número Mais Provável (NMP) de bactérias coliformes totais e termotolerantes/100 mL. O intervalo de confiança é de 95% de probabilidade para diversas combinações de tubos positivos, em séries de cinco tubos, sendo que a quantidade inoculada de cada amostra foi de 10,0, 1,0 e 0,1 mL. Para determinação dos coliformes termotolerantes, foi utilizado o mesmo método descrito para *Escherichia coli*, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) e Silva *et al.* (2005).

Para a análise de clorofila *a*, as amostras foram filtradas assim que chegaram ao laboratório, utilizando-se filtros GF/F de 25 mm de diâmetro. Em seguida foi feita extração com acetona, seguido de leitura em fluorímetro, modelo *Turner Designs Fluorometer TD-700*.

Os Limites de Quantificação (LQ) para as metodologias adotadas nas análises dos parâmetros acima descritos foram: DBO e ST: 1,0 mg/L; NT,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , PT e clorofila *a*: 1,0 µg/L; coliformes totais e termotolerantes: < 1,0/100 mL.

Os metais totais (soma das frações de metais em solução e em suspensão) e dissolvidos foram analisados por espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). O *Inductively Coupled Plasma* (ICP) foi um dos mais importantes

avanços da espectroquímica e possui a vantagem de obtenção de limites de detecção mais baixos. É uma técnica robusta para a análise multielementar, pois o modo de operação qualitativo permite em uma única varredura avaliar todos os elementos da tabela periódica, com precisão e exatidão comparável às obtidas por outras técnicas analíticas monoelementares. O equipamento utilizado foi *Agilent Technologies/7500CE*, que dispõe de recursos avançados em seu programa, e possibilitam uma escolha criteriosa das linhas de emissão a serem utilizadas para cada elemento (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012a). As condições operacionais do sistema estão apresentadas na tabela 6.

**Tabela 6** - Condições operacionais do sistema (ICP-MS)

<b>Parâmetros operacionais</b>	<b>Condições</b>
Potência do plasma	1200 w
Gás refrigerante (Ar)	12 L/min
Gás auxiliar	1,0 L/min
Pressão do nebulizador	250 KPa
Fluxo de amostra	0,3 mL/min

**Fonte:** LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY (2012a).

Na tabela 7 estão apresentados os Limites de Quantificação para as metodologias adotadas nas análises de metais em ICP-MS. Segundo informações do laboratório Bioagri, para atender ao credenciamento do mesmo junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), ocorreu uma revisão dos limites de quantificação dos métodos utilizados para metais, a partir da 5ª campanha de monitoramento (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b).

**Tabela 7** - Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises de metais presentes nas águas da Represa Dr. João Penido (mg/L)

<b>Analito</b>	<b>LQ (1<sup>a</sup>- 4<sup>a</sup> campanhas)</b>	<b>LQ (5<sup>a</sup>- 8<sup>a</sup> campanhas)</b>
Na	0,01	0,001
K	0,01	0,001
Ca	0,01	0,001
Cr	0,0001	0,001
Mn	0,0001	0,001
Fe	0,001	0,02
Ni	0,0001	0,001
Cu	0,0001	0,001
Zn	0,0001	0,001
Cd	0,0001	0,001
Pb	0,0005	0,001

**Fonte:** Adaptação dos dados fornecidos pelo Laboratório Bioagri - *A Mérieux NutriSciences Company*.

O controle de qualidade analítico baseou-se em análises de soluções padrão de Li, Va, Co, Sb, Pb e Mo, de concentração 0,01 mg/L, juntamente com um branco, a cada lote de dez amostras. O objetivo foi acompanhar e monitorar o desempenho do equipamento frente às massas selecionadas que identificam cada elemento. A validação da metodologia analítica foi efetuada pela análise de material de referência certificado, selecionado e adquirido seguindo critérios da norma NIT-DICLA<sup>19</sup>-30 (Rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades na Acreditação de Laboratórios) (INMETRO, 2007; LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b).

Utilizou-se o Ítrio como padrão interno, que foi inserido nas amostras esperando-se a sua recuperação, sendo aceitável a faixa entre 70 e 130%. O objetivo deste procedimento foi checar e monitorar as condições iniciais do equipamento e as possíveis contaminações durante as análises. As amostras de água, os padrões analíticos e brancos foram dopados com solução de Ítrio até obter-se uma concentração de 0,1 mg/L, com a linha de emissão no ICP-MS na faixa de 371.030 nm (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b; USEPA, 2007a).

Realizou-se o branco do método com água ultra purificada, fazendo-se o mesmo processo de preparo das amostras a serem analisadas. O objetivo do branco foi verificar se a preparação e injeção estavam livres de contaminação (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b; USEPA, 2007a).

Os agrotóxicos foram analisados por Cromatografia Gasosa (GC) associada à Espectrometria de Massa (MS) (USEPA, 2007b). Esta é uma técnica tradicionalmente

<sup>19</sup> DICLA: Divisão de Credenciamento de Laboratórios; NIT: Norma INMETRO Técnica.

empregada, que apresenta excelente resolução, sendo possível analisar várias substâncias em uma mesma amostra (multirresíduos). A sensibilidade da cromatografia é bastante elevada. Dependendo do tipo de analito e detector empregado, podem-se obter resultados quantitativos em valores que variam de picogramas a miligramas (COLLINS, 1997). Também foi utilizado o método descrito em USEPA (1996), que determina procedimentos para isolar os compostos orgânicos nas amostras, bem como compostos insolúveis ou ligeiramente solúveis em água, preparando-as para métodos cromatográficos. De acordo com as informações do laboratório Bioagri, o equipamento utilizado foi cromatógrafo associado a espectrômetro de massas com injetor automático para líquidos, marca *Agilent*; modelo do cromatógrafo: *7890A*; modelo do espectrômetro de massas: *5975C inert MSD*; modelo do injetor: *7683B* (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b).

Nas tabelas 8 e 9 estão apresentados os Limites de Quantificação para as análises de agrotóxicos feitas em GC-MS. Para atender ao credenciamento do laboratório Bioagri junto ao INMETRO, ocorreu uma revisão dos limites de quantificação dos métodos utilizados para agrotóxicos, a partir da 4ª campanha de monitoramento (LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY, 2012b).

**Tabela 8** - Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises dos agrotóxicos citados na Portaria MS/GM 518/2004 (revogada em 12/12/2011) nas águas da Represa Dr. João Penido (1<sup>a</sup> a 3<sup>a</sup> campanhas) (µg/L)

<b>Analito</b>	<b>LQ</b>
Glifosato	0,01
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	0,02
Aldrin e Dieldrin	0,03
Lindano (g-BHC)	0,05
Alaclor	0,1
Clordano (isômeros)	0,1
Endrin	0,1
2,4-D	0,5
Atrazina	0,5
Bentazona	0,5
DDT (isômeros)	0,5
Endossulfan	0,5
Hexaclorobenzeno	0,5
Metolacloro	0,5
Metoxicloro	0,5
Molinato	0,5
Pendimetalina	0,5
Pentaclorofenol	0,5
Permetrina	0,5
Propanil	0,5
Trifluralina	0,5
Simazina	1,0

**Fonte:** Adaptação dos dados fornecidos pelo Laboratório Bioagri - *A Mérieux NutriSciences Company*.

**Tabela 9** - Limites de Quantificação (LQ) dos métodos utilizados nas análises dos agrotóxicos citados na Portaria MS GM 2.914/2011 nas águas da Represa Dr. João Penido (4ª a 8ª campanhas) ( $\mu\text{g/L}$ )

<b>Analito</b>	<b>LQ</b>
2,4 D + 2,4,5 T	1,0
Alaclor	0,1
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	3,0
Aldrin + Dieldrin	0,03
Atrazina	0,5
Carbendazim + benomil	2,0
Carbofurano	1,0
Clordano	0,1
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	2,0
DDT + DDD + DDE	0,3
Diuron	1,0
Endossulfan ( $\alpha$ $\beta$ e sais)	0,5
Endrin	0,1
Glifosato + AMPA	10
Lindano (gama HCH)	1,0
Mancozebe	50
Metamidofós	1,0
Metolacloro	0,5
Molinato	0,5
Parationa Metflica	1,0
Pendimentalina	0,5
Permetrina	0,5
Profenofós	1,0
Simazina	1,0
Tebuconazol	1,0
Terbufós	0,5
Trifluralina	0,5

**Fonte:** Adaptação dos dados fornecidos pelo Laboratório Bioagri - A Mérieux NutriSciences Company.

#### 4.2.3 Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)

Para a verificação do grau de trofia da represa, adotou-se o IET proposto por Lamparelli (2004) e utilizado pela CETESB no estado de São Paulo, que corresponde ao Índice de Carlson (1977) modificado para ambientes tropicais. A escolha é justificada por ser de fácil aplicação e baixo custo, considerando as análises de PT e clorofila *a*, necessárias para a sua utilização (CETESB, 2013a).

Na metodologia proposta por Lamparelli (2004) para a determinação do IET, foram sugeridas equações que consideram as variáveis PT, clorofila *a* e transparência, levando-se em conta a relação existente entre elas. Porém, a CETESB não considera o parâmetro transparência no cálculo do IET no monitoramento dos corpos d'água. Os valores relativos a

este parâmetro, muitas vezes, não são representativos do estado de trofia do ambiente, pois podem ser afetados pela turbidez decorrente das partículas minerais em suspensão e não, pela densidade de organismos planctônicos (LAMPARELLI, 2004). Além disso, nem sempre esses dados são disponíveis na rede de monitoramento do estado (CETESB, 2013a). Este mesmo procedimento foi adotado nesta tese, pelos mesmos motivos<sup>20</sup>.

Sendo assim, o IET foi calculado a partir dos resultados do IET correspondentes ao fósforo total (IET (PT)) e à clorofila *a* (IET (CL)), sendo distintas as fórmulas de cálculo para rios (ambientes lóticos) e reservatórios (ambientes lênticos). Por se tratar de ambiente lêntico, abaixo estão apresentadas as fórmulas utilizadas no cálculo do IET da Represa Dr. João Penido de acordo com a CETESB (2013a) e Lamparelli (2004):

• **Fórmulas para reservatórios:**

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2))$$

onde: PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL = concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em µg/L e

ln = logaritmo natural.

Quando existem os dados referentes às duas variáveis, o resultado do IET será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila *a*, segundo a equação (CETESB, 2013a):

$$\text{IET} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2$$

No caso de não haver resultados para uma das variáveis, o IET será calculado com aquela que estiver disponível, devendo apenas constar esta observação junto ao resultado. Neste índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET (PT), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila *a*, IET (CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de

---

<sup>20</sup> A ANA utiliza nos cálculos do IET apenas o parâmetro PT (ANA, 2009).

forma adequada o nível de crescimento de algas nos corpos hídricos. Assim, o índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo (CETESB, 2013a; LAMPARELLI, 2004). A tabela 10 mostra a classificação do estado trófico em função do IET final encontrado, após os cálculos.

**Tabela 10** - Classificação do estado trófico para reservatórios

<b>Nível trófico</b>	<b>IET final</b>	<b>PT (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	<b>CL (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$\text{PT} \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < \text{PT} \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < \text{PT} \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < \text{PT} \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < \text{PT} \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$\text{PT} > 233$	$\text{CL} > 69,05$

Fonte: CETESB (2013a); LAMPARELLI (2004).

A classificação do IET está apresentada na tabela 11.

**Tabela 11** - Categoria do estado trófico e ponderação/classes do IET

<b>Categoria do Estado Trófico</b>	<b>Ponderação/ Classes IET</b>
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4
Hipereutrófico	5

Fonte: CETESB (2013a).

#### 4.2.4 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)

Na determinação do IQA, foi utilizada a metodologia adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no Projeto “Águas de Minas” (rede de monitoramento do estado de Minas Gerais). Os parâmetros utilizados no cálculo foram: temperatura da água, OD, PT, coliformes termotolerantes, ST, turbidez,  $\text{NO}_3^-$ , pH e DBO. Para cada parâmetro foi atribuído um peso de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA, conforme apresentado na tabela 12.

**Tabela 12** - Pesos referentes a cada parâmetro analisado no cálculo do IQA

<b>Parâmetro</b>	<b>Peso - w<sub>i</sub></b>
OD (%OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
DBO (mg/L)	0,10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,10
Fosfato Total (mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	0,10
Variação na temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
ST (mg/L)	0,08

Fonte: MINAS GERAIS (2005).

O IQA é calculado através da seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade de Água, variando de 0 a 100;

q<sub>i</sub> = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;

w<sub>i</sub> = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, variando entre 0 e 1.

Os valores do índice variam entre 0 e 100, conforme especificado na tabela 13, a seguir:

**Tabela 13** - Nível de qualidade da água e respectivas faixas de IQA

<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Faixa</b>
<b>Excelente</b>	<b>90 &lt; IQA ≤ 100</b>
<b>Bom</b>	<b>70 &lt; IQA ≤ 90</b>
<b>Médio</b>	<b>50 &lt; IQA ≤ 70</b>
<b>Ruim</b>	<b>25 &lt; IQA ≤ 50</b>
<b>Muito ruim</b>	<b>0 ≤ IQA ≤ 25</b>

Fonte: MINAS GERAIS (2005).

Em Minas Gerais, desde 1997, o IGAM desenvolve o Projeto “Águas de Minas”, em parceria com a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) (MINAS GERAIS, 2005). Neste projeto, o monitoramento da qualidade das águas superficiais é realizado em 544

estações de amostragem distribuídas pelo estado (IGAM, 2014). Para facilitar os cálculos do IQA, criou-se um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional através do *Oracle 9i Standard Edition*, denominado Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA). O desenvolvimento deste sistema foi baseado nas curvas obtidas pela *National Sanitation Foudantion* e estudos correlatos desenvolvidos principalmente no Brasil. Através de regressões polinomiais e com auxílio do programa Excel, foram determinadas as equações a serem utilizadas para o cálculo do índice de qualidade relativo a cada parâmetro (qs) (MINAS GERAIS, 2005). Caso seja verificada a ausência do parâmetro OD e/ou coliformes termotolerantes, o programa não calcula o IQA. Se for verificada a ausência dos demais parâmetros, o programa redefine os pesos correspondentes, de modo a ser obtido um resultado final compatível, ou seja, o peso é distribuído igualmente entre os parâmetros relativos aos dados obtidos (MINAS GERAIS, 2005). Este programa de cálculo do IQA foi gentilmente cedido pelo IGAM e utilizado neste trabalho (IGAM, 2010). Os resultados de PT são convertidos em fosfato total, através do fator de correção conforme equação abaixo, de acordo com a planilha de cálculo do IGAM.

$$PT_{(CORREÇÃO)} = \frac{Fosfato}{0,3261}$$

As equações utilizadas para o cálculo do índice de qualidade para cada parâmetro (qs) e que são utilizadas no programa de cálculo do IQA (SCQA) estão apresentadas no Anexo F.

#### 4.2.5 Análise estatística dos dados

Os testes aplicados na análise estatística dos dados possuem nível de significância de 5% entre as variáveis do estudo.

Para comparar as médias de IQA e IET nos 5 pontos amostrais, utilizou-se a Análise de Variância ANOVA, com o auxílio do *Software Primer of Biostatistics* versão 4.0. Este teste é uma extensão do Teste t de Student, o qual compara somente duas médias. A ANOVA permite a comparação de qualquer número de médias, sendo utilizado em experimentos com mais de dois tratamentos, como é o caso desta pesquisa (STANTON, 1997; VIEIRA, 2006).

A influência das estações seca e chuvosa nos parâmetros foi verificada através do Teste t de Student, utilizando o *Software Sphinxs Lexica & Eureka* versão 5.0. No presente estudo, comparou-se as médias dos parâmetros em cada ponto de amostragem nas duas

estações climáticas para verificar se havia diferença significativa entre os pontos (VIEIRA, 2006).

Para fazer a correlação entre metais e parâmetros físico-químicos e microbiológicos, foi construído um banco de dados pela tabulação e codificação dos mesmos, que foram então analisados pelo *software Sphinx Lexica & Eureka* versão 5.0. Realizou-se a montagem do banco de dados, procedendo às seguintes etapas: determinação da correspondência entre os dados e a variável; codificação das variáveis; categorização dos resultados; formação do banco de dados e análise estatística descritiva. Posteriormente aplicou-se a técnica de mineração de dados (*Data mining*) procurando padrões, tendências e verificando relações e correlações estatísticas, segundo metodologia descrita por Berry e Linoff (1997) e Han e Kamber (2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados obtidos neste estudo para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido estão apresentados no Apêndice.

### 5.1 METAIS

Os resultados e a estatística descritiva dos metais para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido estão apresentados no Apêndice C. A comparação dos resultados de metais da Represa Dr. João Penido com reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela CETESB <sup>21</sup> (2012; 2013c) e os limites definidos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estão apresentados no Apêndice H.

#### 5.1.1 Comparação dos resultados obtidos com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005)

Esteves (1998) afirma que a carga total de metais em rios e lagos depende das características geológicas e ecológicas das bacias de drenagem, bem como do tipo e intensidade de atividades humanas nelas desenvolvidas. O transporte dos mesmos para os corpos d'água é realizado principalmente sob a forma dissolvida ou ligada a material particulado em suspensão.

De uma maneira geral, as concentrações de metais na represa são baixas (Apêndice C). O ferro dissolvido apresentou desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) em 27,5 %, do total de 40 das amostras analisadas. As características geológicas e pedológicas da bacia da represa influenciam na composição química da água. As unidades litológicas denominadas Biotita, Anfibólito e Granada, bem como os latossolos presentes nos terrenos da região possuem ferro em sua composição (EMBRAPA, 2009a; 2009b; UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010). Os metais cádmio, cobre, cromo, níquel, e chumbo ficaram abaixo do Limite de Quantificação do método utilizado. As concentrações de manganês total e zinco total e ficaram abaixo dos limites legais, exceto para o zinco total em

---

<sup>21</sup> Os reservatórios paulistas utilizados para comparação foram: Res. das Graças, Res. Capivari-Monos, Res. do Cabuçu, Res. Tanque Grande, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. do Rio Jundiá UGRHI 06, Res. do Jaguarí UGRHI 02-JAGJ 00200, Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100, Res. Guarapiranga - GUAR 00900, Res. Taiapuêba.

apenas uma amostra do ponto P2, coleta de 18/07/2012. Sódio, potássio e cálcio não possuem limites definidos na referida norma.

### **5.1.2 Comparação dos resultados de metais obtidos neste estudo com os reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela CETESB no ano de 2012**

O estudo de metais em águas brasileiras, principalmente em reservatórios, ainda é escasso, tendo em vista a grande rede hidrográfica do território nacional (COTRIM, 2006). Isso posto, os resultados deste trabalho foram comparados com os reservatórios monitorados pela CETESB no estado de São Paulo referentes ao ano de 2012 (CETESB, 2012; 2013c). Como são muitos os pontos monitorados, foram escolhidos para fins de comparação, aqueles situados em reservatórios utilizados para abastecimento público de água e que são enquadrados em “classe especial”, cujos resultados estão apresentados no Anexo G. A escolha desta classe foi feita por ser mais restritiva e porque não havia nenhum reservatório de abastecimento na rede de monitoramento paulista, cuja classe fosse a mesma da Represa Dr. João Penido (“classe 1”). A CETESB também compara os resultados destes reservatórios com os limites definidos para a “classe 1” da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), tendo em vista que a norma não define padrões para a “classe especial” (CETESB, 2012; 2013c).

Os metais cádmio, chumbo, cromo, manganês, zinco e níquel na forma dissolvida não são monitoradas pela CETESB, e também não constam na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Os metais cobre e ferro na forma total, bem como sódio e potássio também não constam na Resolução.

Comparando ainda os metais monitorados em São Paulo e que foram monitorados também na Represa Dr. João Penido, mas que **não** possuem limites previstos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), observa-se com relação ao sódio total e potássio total, que os resultados variaram respectivamente de 0,53 a 28,60 mg/L e 0,38 a 1,24 mg/L na Represa Dr. João Penido e, de acordo com a CETESB (2012; 2013c), de 1,75 a 18,00 mg/L e 0,44 a 5,34 mg/L nos reservatórios paulistas.

De uma forma geral, observam-se algumas semelhanças em relação às concentrações dos metais monitorados nos reservatórios paulistas e na Represa Dr. João Penido, quanto ao atendimento à Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) (Apêndice G). Em ambos os estados (SP e MG), observa-se que as concentrações de níquel, cromo, cádmio e chumbo total atenderam à norma; cobre dissolvido atendeu à norma, exceto no Reservatório de

Guarapiranga (SP); ferro dissolvido apresentou valores em desacordo com a Resolução em ambos os estados; zinco total apresentou todos os resultados em conformidade com a norma, exceto em uma amostra do ponto P2 da Represa Dr. João Penido (MG).

## 5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

Os resultados e a estatística descritiva do IQA e IET para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido estão apresentados no Apêndice D.

### 5.2.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Os resultados de IQA para os pontos amostrados e as suas respectivas classificações para os períodos seco e chuvoso (Apêndice E), bem como a média observada na estatística descritiva (Apêndice D) mostram que o nível de qualidade da água do reservatório variou de “Médio” a “Bom”, com predominância do nível “Bom” na estação seca e “Médio” na estação chuvosa.

Bucci (2011) também encontrou predomínio de IQA “Médio” no período chuvoso para a Represa Dr. João Penido, no período monitorado entre 2009-2010 (exceto para o ponto da zona intermediária da represa, que apresentou IQA “Bom” em todo o estudo). Assim como ocorre no estado de Minas Gerais desde o início do monitoramento em 1997, o IQA “Excelente” não foi observado para a Represa Dr. João Penido. As águas pluviais contribuem para o escoamento superficial da bacia de drenagem, interferindo nestes resultados.

De acordo com a análise de variância ANOVA, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os resultados de IQA para os pontos analisados. Através da média apresentada na estatística descritiva, observamos que o ponto P2 apresentou o menor valor, tornando-o diferente dos demais. Este resultado indica nível de qualidade “Médio” em relação aos outros pontos, cujos valores de média variaram de 70,98 a 74,46, apresentando nível “Bom” e confirmando o teste estatístico.

Observamos que o ponto P2 foi o mais impactado da represa em relação ao IQA, o que se manifesta através da proliferação de plantas aquáticas no espelho d’água, sugerindo possível lançamento clandestino de esgotos à montante. Na margem esquerda deste ponto de coleta existe um clube recreativo, que juntamente com outras residências do local, contribuem para a degradação da qualidade da água neste local. Existe a possibilidade de lançamentos clandestinos de esgotos nesta região da represa.

Na estação seca, observamos nível “Bom” para todos os pontos, exceto para o P2 nas seguintes campanhas: (1) 27/07/2011, onde houve alto valor para coliformes termotolerantes (900 NMP/100 mL), associado ao alto valor de PT (27,92 µg/L); (2) 18/07/2012, onde foi encontrado alto valor de DBO (28,0 mg/L). Estes resultados (Apêndice B) estiveram em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e contribuíram para explicar os níveis “Médio” encontrados no cálculo do IQA nesta estação do ano. Observamos também odor característico de material em decomposição e cor amarelada nestas amostras de água coletadas nas duas referidas datas. A pouca pluviosidade ocorrida nestes períodos também contribuiu para a concentração de substâncias na água, interferindo nos parâmetros de qualidade. Nos 30 dias anteriores a estas campanhas choveu apenas 5,8 mm e 5,3 mm, respectivamente nas coletas de 27/07/2011 e 18/07/2012, de acordo com a EPRJP (Apêndice A).

O Mapa de Qualidade das Águas 2013 de Minas Gerais revelou que os fatores que mais influenciaram o IQA nas bacias mineiras foram os parâmetros turbidez, coliformes termotolerantes e DBO (IGAM, 2014). Comparando com os resultados da represa, os parâmetros em comum que influenciaram o IQA foram coliformes termotolerantes e DBO.

Na estação chuvosa, a tendência ao nível “Médio” foi observada pelo efeito da poluição difusa ao longo da represa e do escoamento superficial da área, que interfere negativamente nos parâmetros de cálculo do IQA. O Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna informou que na Bacia do Rio Paraíba do Sul (onde está inserida a represa em estudo), a qualidade das águas apresentou uma piora nos períodos de maior pluviosidade no ano de 2012 (CBH PRETO E PARAIBUNA, 2012). De acordo com o IGAM, o aumento da quantidade de chuvas contribuiu para o comprometimento da qualidade dos corpos de água do estado de Minas Gerais pela influência das fontes difusas de poluição (IGAM, 2013). O mesmo fato foi observado no estado de São Paulo, onde, segundo a CETESB (2013c), evidenciou-se uma melhora na qualidade das águas no período seco, indicando que as cargas difusas podem causar maior impacto negativo na qualidade hídrica, em detrimento da diluição dos poluentes pelo incremento das vazões no período chuvoso. Este fato observado para os dois estados brasileiros também foi verificado para a Represa Dr. João Penido, o que pode ser claramente observado no Apêndice E. Provavelmente o escoamento superficial da bacia de drenagem facilitou o transporte de sedimentos e outros materiais presentes no solo para a água, interferindo nos parâmetros de qualidade no período chuvoso. A ausência de áreas florestadas e vegetação ripária contribuiu

para estes resultados. De acordo com Nürnberg (2001) e Pinder (2013), tudo o que ocorre na bacia de drenagem reflete diretamente na qualidade da água dos reservatórios.

### 5.2.2 Índice de Estado Trófico (IET)

Os resultados de IET para os pontos amostrados e as suas respectivas classificações para os períodos seco e chuvoso (Apêndice F), bem como a média observada na estatística descritiva (Apêndice D) mostram a predominância do estado “Mesotrófico” na Represa Dr. João Penido.

De acordo com o teste estatístico aplicado, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os resultados de IET nos pontos analisados. No entanto, observamos uma tendência para o estado “Mesotrófico” no período chuvoso (Apêndice F), fato constatado também por Bucci (2011) em seus estudos na Represa Dr. João Penido.

O estado “Oligotrófico” foi observado para os pontos P1, P3 e P5 na coleta de 27/10/2011 (estação chuvosa). Resultados acima de 52,0 classificam o IET em “Mesotrófico”. Observando os resultados de IET para estes pontos na referida data de coleta (Apêndice F), notamos que estão muito próximos de 52,0, ou seja, da classificação “Mesotrófico”.

Ocorrem dois efeitos antagônicos provocados pelo aumento da pluviosidade: as chuvas favorecem o escoamento superficial para a represa, que é desprovida de mata ciliar em quase toda a sua extensão; os sedimentos transportam fósforo presente nos solos para a água, o que favorece a eutrofização, levando à predominância do estado “Mesotrófico” no período chuvoso; o outro efeito é o aumento da turbidez provocado pelos sedimentos transportados, diminuindo a transparência da água; com isso, a produtividade primária do fitoplâncton também diminui, levando a menores concentrações de clorofila *a*, podendo indicar uma tendência para o estado “Oligotrófico” no período chuvoso. No caso da Represa Dr. João Penido, o primeiro efeito prevalece sobre o segundo.

Os usos do reservatório também podem interferir no acréscimo de nutrientes e conseqüentemente afetar o estado trófico e a qualidade de suas águas (NÜRNBERG, 2001). A represa funciona como receptora de sedimentos. Estes transportam fósforo, resíduos orgânicos, organismos patogênicos e outros nutrientes para a água (THORNTON, 1990), que também sofre degradação com lançamentos clandestinos de esgotos provenientes das residências locais. Este “mau uso” do reservatório tem contribuído para o incremento do processo de eutrofização do ambiente estudado, mostrando a predominância do estado “Mesotrófico” encontrado nos resultados.

Thornton (1990), afirma que o estado trófico é influenciado pelos gradientes de sedimentação ao longo do eixo longitudinal do reservatório, variando geralmente de “Eutrófico” na zona fluvial (região mais rasa e próxima à entrada dos afluentes), a “Oligotrófico”, na zona lacustre (região mais profunda e próxima à barragem). Este fato não foi observado para a Represa Dr. João Penido, pois não houve diferença significativa entre os pontos amostrais, conforme demonstrou o teste estatístico. Bucci (2011) também não constatou esta ocorrência em seus estudos na referida represa.

### **5.2.3 Comparação dos resultados de IQA e IET obtidos neste estudo com os corpos d’água monitorados nos estados de Minas Gerais (IGAM) e São Paulo (CETESB)**

A seguir serão comparados os resultados das médias do IQA e IET obtidos neste estudo (Apêndices D, E e F) com os corpos d’água do Estado de Minas Gerais e reservatórios utilizados para abastecimento público no estado de São Paulo (águas doces, “classe especial”), monitorados pelo IGAM e CETESB, respectivamente (Anexos H, I e J).

#### **5.2.3.1 IQA**

O monitoramento dos corpos d’água do estado de Minas Gerais (“Projeto Águas de Minas”) iniciou-se em 1997 com 222 estações de amostragem, sendo que ao longo dos anos, novos pontos foram implantados, totalizando 448 estações em 2012 (IGAM, 2013) e 544 em 2013 (IGAM, 2014).

Os valores do IQA são classificados em faixas que variam entre os estados brasileiros, sendo que a classificação do corpo d’água em relação ao valor do IQA nos estados de Minas Gerais e São Paulo é um pouco diferente, conforme mostrado na tabela 14. Cabe ressaltar que a metodologia adotada foi aquela utilizada pelo estado de Minas Gerais.

**Tabela 14** - Nível de qualidade da água e faixas de variação do IQA utilizadas nos estados brasileiros de acordo com a ANA

AL, <b>MG</b> , MT, PR, RJ, RN, RS	BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, <b>SP</b>	Nível de Qualidade da Água <sup>22</sup>
91-100	80-100	Ótima
71-90	52-79	Boa
51-70	37-51	Razoável
26-50	20-36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

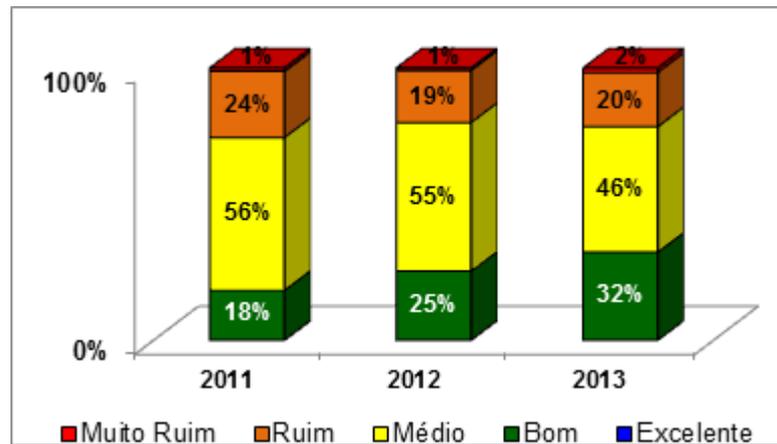
Fonte: ANA (2009).

Os valores do índice variam entre 0 e 100 e os níveis de qualidade são classificados em Minas Gerais como: “Muito Ruim” ( $0 \leq \text{IQA} \leq 25$ ), “Ruim” ( $25 < \text{IQA} \leq 50$ ), “Médio” ( $50 < \text{IQA} \leq 70$ ), “Bom” ( $70 < \text{IQA} \leq 90$ ) e “Excelente” ( $90 < \text{IQA} \leq 100$ ) (IGAM, 2013). Para o estado de São Paulo, a CETESB considera: “Péssima” ( $\text{IQA} \leq 19$ ), “Ruim” ( $19 < \text{IQA} \leq 36$ ), “Regular” ( $36 < \text{IQA} \leq 51$ ), “Boa” ( $51 < \text{IQA} \leq 79$ ) e “Ótima” ( $79 < \text{IQA} \leq 100$ ) (CETESB, 2013b).

Em Minas Gerais pode-se observar de uma forma geral, que há o predomínio do IQA “Médio”, desde o início do monitoramento no estado, no ano de 1997 (Anexo H). Este fato ocorreu na Represa Dr. João Penido para o período chuvoso no período monitorado entre 2011-2013 (Apêndice E), bem como no estudo feito por Bucci (2011), no período entre 2009-2010. Ressalta-se que os corpos d’água mineiros monitorados são lóticos, pois o projeto estadual não contempla reservatórios. Mesmo assim, os dados foram utilizados para comparação, pela ausência de informações sobre IQA de reservatórios no estado de Minas Gerais.

O IGAM revelou que houve uma melhoria no IQA nos últimos três anos (de 2011 a 2013) nas bacias mineiras, conforme mostra o gráfico 1. A evolução é fruto dos investimentos para tratamento de esgoto e na melhoria dos processos produtivos (IGAM, 2014). A frequência de ocorrência de IQA “Bom” passou de 18% em 2011 para 32% em 2013, o que representa um aumento de 77%. As águas com qualidade “Ruim” caíram de 24% em 2011 para 20% em 2013, uma queda de 17% (IGAM, 2014).

<sup>22</sup> Nesta tabela 14 apresentada, a classificação do IQA referida como “Ótima” adotada pela ANA, é utilizada também no estado de SP e equivale a “Excelente” em MG; a denominação “Razoável” utilizada pela ANA, equivale a “Regular” em SP e “Médio” em MG; a denominação “Péssima” adotada pela ANA e em SP equivale a “Muito ruim” em MG. Neste trabalho adotou-se a classificação de MG, pela coerência com a metodologia aplicada.

**Gráfico 1 - Qualidade das Águas em Minas Gerais**

Fonte: IGAM (2014).

No estado de São Paulo, os valores de IQA para os reservatórios (águas doces “classe especial”) monitorados pela CETESB<sup>23</sup> e que são utilizados para abastecimento público da população estão apresentados no Anexo J.

Observa-se que para a Represa Dr. João Penido no período monitorado (2011-2013), a média de IQA foi 70,95 (IQA “Bom”) considerando as médias dos cinco pontos amostrais (Apêndice D), o que a faz semelhante a cinco dos dez reservatórios paulistas utilizados para abastecimento, cujas médias variaram de 71,0 a 79,0 em 2012, com IQA “Bom” (Anexo J). Nota-se que o reservatório com média de IQA mais próxima ao da Represa Dr. João Penido é o denominado Capivari-Monos.

#### 5.2.3.2 IET

Os resultados de ocorrência do IET trimestral nos corpos d’água lóticos do estado de Minas Gerais, no período de monitoramento compreendido entre 2007 e 2012 (Anexo I; banco de dados disponíveis a partir do ano de 2007), foram utilizados para comparar com os resultados do IET da Represa Dr. João Penido.

Apesar de todas as 448 estações de monitoramento estarem localizadas em corpos d’água lóticos (IGAM, 2013), os dados foram utilizados para comparação, pela carência de estudos sobre IET em represas do estado.

<sup>23</sup> De acordo com a CETESB (2013c), dentre os reservatórios monitorados e que são destinados ao abastecimento público de água, não há reservatórios cuja classificação fosse águas doces “classe 1”, observando a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) Então, para efeito de comparação, utilizou-se aqueles classificados como “classe especial” (ou “zero”), pois a Represa Dr. João Penido é “classe 1”.

De acordo com o IGAM, no estado de Minas Gerais, há o predomínio das categorias mais baixas do IET (“Ultraoligotrófico”, “Oligotrófico” e “Mesotrófico”), as quais conjuntamente representaram 70% dos resultados obtidos em 2012. Por outro lado, as condições mais favoráveis à eutrofização (crescimento da biomassa algal), representadas pelas categorias mais altas do IET (“Eutrófico”, “Supereutrófico” e “Hipereutrófico”) representaram conjuntamente 30% dos resultados em 2012 (Anexo I). As piores condições em relação ao IET (estado “Hipereutrófico”) foram encontradas principalmente nos corpos d’água que recebem efluentes sanitários e industriais dos grandes centros urbanos. Assim, em todo o período monitorado em Minas Gerais (2007 – 2012), observa-se o predomínio do estado “Mesotrófico” (IGAM, 2013).

Observando os anos de 2011 e 2012, que corresponde ao período monitorado neste estudo, houve a mesma tendência dos anos anteriores, com predominância do estado “Mesotrófico” (IGAM, 2013). Este fato também foi observado para a Represa Dr. João Penido, com 10 ocorrências para o estado “Oligotrófico” e 30 ocorrências para o estado “Mesotrófico” (do total de 40 resultados), havendo também predominância deste último (Apêndice F).

Foram utilizados também os dados de monitoramento da CETESB dos reservatórios de abastecimento de água do Estado de São Paulo para fins de comparação, tendo em vista que as classificações e metodologias adotadas para o IET de reservatórios nos dois estados brasileiros são as mesmas (CETESB, 2013c; IGAM, 2013).

A média do IET para a represa Dr. João Penido foi de 53,47, levando-se em conta as médias dos cinco pontos amostrais (Apêndice D), classificando-a como estado “Mesotrófico” predominante. Dentre os reservatórios paulistas classificados como “Mesotrófico”, cuja média do IET mais se aproxima deste valor são os denominados Reservatório do Rio Jundiáí - UGRHI 06 e Reservatório Jaguari - UGRHI 02-JAGJ 00200, que apresentaram média de 55,0 (Anexo J), assemelhando-se mais à represa mineira quanto ao estado trófico.

### 5.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS

Os resultados e a estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido estão apresentados no Apêndice B. A comparação dos resultados encontrados para a Represa Dr. João Penido com os reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela

CETESB (2012; 2013c) e com os limites definidos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estão apresentados no Apêndice G.

### **5.3.1 Comparação dos resultados obtidos neste estudo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005)**

A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, além de outras providências. Para verificar o atendimento a esta norma, foi utilizada como referência águas doces “classe 1”, cujos padrões estão determinados em seu artigo 14.

A Deliberação Normativa COPAM nº 16/1996 (MINAS GERAIS, 1996), que dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água da Bacia do Rio Paraibuna, determina em seu artigo 1º, item II, o seguinte: as águas do Ribeirão dos Burros, no trecho compreendido entre suas nascentes até a confluência com o rio Paraibuna, são consideradas “classe 1”. De acordo com a Prefeitura de Juiz de Fora (JUIZ DE FORA, 2004), a represa e seus afluentes estão contidas nesta sub-bacia, no referido trecho. Portanto, a Represa Dr. João Penido está enquadrada como “**classe 1**”.

A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) preconiza que águas doces “classe 1” podem ser destinadas aos seguintes usos múltiplos: abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, proteção de comunidades aquáticas, recreação de contato primário conforme Resolução CONAMA 274/2000 (BRASIL, 2000), irrigação de hortaliças e frutas que são consumidas cruas e proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas (BRASIL, 2000; 2005).

A condutividade, cor, turbidez, sólidos totais, nitrato, nitrito, amônio, clorofila *a* e pH (este último, exceto em apenas uma amostra do P2) ficaram abaixo dos limites previstos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Os parâmetros que apresentaram desconformidade com a referida norma e suas respectivas porcentagens foram: DBO (100,0 %), OD (95,0 %), fósforo total (42,5 %) e coliformes termotolerantes (15,0%). A temperatura da água, condutividade, nitrogênio total e coliformes totais não possuem limites definidos na Resolução.

### **5.3.2 Comparação dos resultados obtidos neste estudo com os reservatórios monitorados no estado de São Paulo pela CETESB no ano de 2012**

Alguns resultados dos parâmetros da Represa Dr. João Penido foram comparados com os resultados obtidos em 2012 nos pontos monitorados pela CETESB, em reservatórios para fins de abastecimento público de água do estado de São Paulo (águas doces “classe especial”), que estão apresentados no Anexo K. No monitoramento feito pela CETESB, não consta resultados para nitrogênio total, nem sólidos totais e os resultados de coliformes termotolerantes não foram comparados porque estão em UFC (Unidades Formadoras de Colônia).

Alguns pontos merecem ser destacados em relação aos reservatórios do estado de São Paulo. Observa-se que a condutividade e a turbidez foram maiores nos reservatórios paulistas indicando ambientes aquáticos mais impactados em relação a estes parâmetros. Os máximos foram observados no Braço Taquacetuba - Res. Billings e Tanque Grande (SP), respectivamente. Alguns resultados de OD e clorofila *a* indicam possibilidade de uma maior produção de biomassa fitoplanctônica, bem como a presença de macrófitas e/ou algas nos reservatórios paulistas do que na Represa Dr. João Penido. Valores acima de 9,2 mg/L de OD indicam supersaturação do gás na água, neste caso, produzido por algas ou macrófitas, indicando ambientes mais impactados e isso foi observado nos reservatórios paulistas em alguns resultados. O Reservatório Jaguari (SP) apresentou o mínimo e o máximo valor de concentração de OD, respectivamente 1,7 e 12,0 mg/L. Para os íons nitrato, nitrito e amônio, as concentrações ficaram abaixo dos limites legais em ambos os estados. A DBO apresentou resultados superiores na represa mineira, com 100% em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), sendo que o valor máximo nos dois estados foi obtido para esta represa. Em ambos os estados, o fósforo total apresentou valores em desacordo com a norma. Os máximos valores para DBO e fósforo total foram observados na represa mineira, demonstrando maior carga de matéria orgânica e nutrientes neste ambiente. Quanto à cor, observa-se também que o máximo foi obtido na represa mineira. O pH apresentou variação semelhante nos dois estados, com máximo obtido no Reservatório de Jaguari (SP).

## 5.4 AGROTÓXICOS

As normas legais utilizadas para comparação foram as Portarias MS/GM 518/2004 e MS/GM 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004; 2011).

### 5.4.1 Comparação dos resultados obtidos referentes a agrotóxicos com as Portarias MS/GM 518/2004 e MS/GM 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004; 2011)

A Portaria MS/GM 2.914/2011 estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água utilizada para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Esta norma revogou a Portaria MS/GM 518/2004 (BRASIL, 2004) e ambas foram utilizadas como referências para comparação dos resultados de agrotóxicos, **por serem mais abrangentes** que a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), envolvendo mais parâmetros orgânicos utilizados na fabricação dos agrotóxicos. No início deste estudo vigorava a antiga portaria.

Cabe ressaltar que esta pesquisa envolveu **análises de água bruta** da Represa Dr. João Penido, **à montante da ETA**, sendo utilizada para consumo somente após o tratamento convencional pela concessionária do município, a Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA). As referidas portarias são referências para água tratada, e não água bruta, mas sua abrangência justifica seu uso neste trabalho.

Todos os resultados obtidos nas análises efetuadas ficaram abaixo dos Limites de Quantificação dos métodos utilizados. Isso mostra que, apesar das áreas de cultivo na bacia hidrográfica e das pequenas hortas das comunidades residentes no local, a represa não apresentou sinais de contaminação por agrotóxicos no período analisado. Portanto todos os parâmetros estiveram em conformidade com as referidas portarias do Ministério da Saúde.

## 5.5 CORRELAÇÃO ENTRE METAIS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NA ANÁLISE ESTATÍSTICA

As associações e correlações significativas entre os metais e os parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontrados nos resultados estão apresentados na figura 1, onde:  $p$  = nível de significância,  $r$  = coeficiente de correlação e  $F$  = Teste exato de Fisher.



aceleração das reações enzimáticas da fotossíntese, resultando em aumento de produtividade, e consequente aumento do fitoplâncton (FERNANDES *et al.*, 2005). Assim, ocorre o incremento dos índices de clorofila *a* na água, explicando a correlação positiva encontrada. Com os metais cálcio e ferro, a linha de raciocínio é outra. Os solos contêm ar, água, minerais<sup>24</sup>, matéria orgânica, microrganismos e diversas outras substâncias (RICKLEFS, 2010). Com o aumento da temperatura, ocorre o aumento da solubilidade dos compostos, lixiviando-os para a água. Esta correlação da temperatura foi importante para o cálcio e ferro presentes nos terrenos da região, principalmente nos minerais granada, biotita e homblenda e nas rochas granulíticas. Os latossolos também são ricos em óxidos e hidróxidos de ferro. Um dos efeitos da presença de água no solo (em torno de 25%) é a diminuição do potencial de oxidação pela ação dos agentes redutores orgânicos que agem através das bactérias catalisadoras, tornando o solo mais redutor. Um dos resultados é a redução de óxidos insolúveis de Fe<sup>+3</sup> em compostos solúveis de Fe<sup>+2</sup>, através da reação abaixo, que é facilitada pelo aumento da temperatura do ar, explicando a correlação positiva:



A reação de dissolução do cálcio no solo ocorre principalmente pela reação do carbonato com a água presente no meio, que é pouco solúvel. O aumento da temperatura favorece a reação:



Assim, os compostos mais solúveis formados no solo são transportados facilmente pela lixiviação, pois as reações são facilitadas pelo aumento da temperatura do ar, justificando a correlação positiva encontrada.

Foram verificadas correlações positivas entre o cálcio dissolvido e potássio total ( $r = + 0,94$ ), potássio dissolvido ( $r = + 0,73$ ) e sódio total ( $r = + 0,82$ ). Uma justificativa para esta observação é a influência antropogênica no meio aquático, pois estes metais são constituintes da urina, evidenciando o lançamento de esgotos nas águas. Estes íons também podem ser liberados para o ambiente por meio das reações químicas provenientes do intemperismo das

---

<sup>24</sup> Os minerais dissolvidos no solo estão presentes na forma de íons. Os principais cátions e ânions são respectivamente Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dentre outros (RICKLEFS, 2010).

rochas calcissilicáticas, bem como da biotita e anfíbolitos pertencentes ao Complexo Mantiqueira, além dos minerais feldspáticos, que são ricos nestes elementos. Este fato foi observado também por Lima (2009) no estudo feito nas águas do rio Piracicaba.

O manganês dissolvido apresentou uma correlação positiva entre coliformes totais ( $r = + 0,87$ ) e coliformes termotolerantes ( $r = + 0,86$ ), sugerindo a interferência do intemperismo e do escoamento superficial na qualidade da água. Os coliformes estão presentes nos solos devido às criações de gado existentes na área da bacia e também têm origem nos possíveis processos de infiltração provenientes dos precários sistemas de tratamentos de efluentes (fossas e sumidouros) das residências locais, além dos lançamentos clandestinos de esgotos na água. O manganês ocorre naturalmente nas rochas da região (gondito e granada). Dentre as reações químicas de oxi-redução que ocorrem no solo e que liberam compostos solúveis do metal para a água, destaca-se:



As correlações elevadas entre cor e sólidos totais ( $r = + 0,90$ ), cor e turbidez ( $r = + 0,85$ ) e turbidez e ferro ( $r = + 0,73$ ), também mostram a fragilidade dos ambientes aquáticos ao carreamento de sedimentos e intemperismo, pela ausência de vegetação ripária em quase toda a extensão da represa e dos tributários.

Observou-se boa correlação entre fósforo total e amônio, apesar das concentrações do íon na água serem baixas. Isso evidencia a existência de lançamentos de esgotos domésticos na represa, interferindo nos parâmetros de qualidade. Os esgotos contêm nitrogênio e fósforo, presentes nas fezes e urina.

Ferro e clorofila *a* também apresentaram boa correlação ( $r = + 0,87$ ). O ferro é essencial para a síntese da clorofila, embora não faça parte de sua estrutura. O metal é um macronutriente e participa de vários processos enzimáticos vinculados a processos de oxirredução, respiração, fotossíntese, redução de nitratos e sulfatos, dentre outros. Portanto é importante para o desenvolvimento dos vegetais. Quando o ferro é transportado para o meio aquático através do intemperismo e do escoamento superficial, há maior disponibilidade deste elemento no meio aquático, favorecendo a produção de clorofila *a*.

O nitrogênio total<sup>25</sup> apresentou correlação positiva com o OD ( $r = + 0,71$ ). Sabe-se que o nitrogênio é utilizado pelas algas e vegetais superiores para o seu crescimento. Com a entrada contínua deste nutriente na água através do escoamento superficial e de lançamentos de esgotos, há aumento de sua concentração no sistema, provocando o aumento da biomassa vegetal e algal. Consequentemente, haverá maior produção de OD no meio aquático na região aeróbia do epilímnio.

O pH, mês e pontos de coleta não apresentaram correlação significativa com nenhum parâmetro.

Foi observada uma correlação negativa entre o nitrogênio total e DBO ( $r = - 0,76$ ). Os microrganismos existentes na matéria orgânica presente na água, expressa em níveis de DBO, consomem nutrientes do meio, daí sua correlação negativa.

O zinco dissolvido apresentou uma correlação negativa com os íons nitrato ( $r = - 0,80$ ) e amônio ( $r = - 0,72$ ). O zinco total correlacionou negativamente com amônio ( $r = - 0,92$ ) e fósforo total ( $r = - 0,81$ ). A interação entre zinco e fósforo tem sido bastante estudada e é muito conhecido o fato de que altos teores de fósforo induzem à deficiência de zinco nos ambientes. O aumento de fósforo no solo e em plantas diminui o excesso de zinco e sua concentração tende a diminuir com o aumento dos níveis de zinco (SHETTY; HETRICK; SCHWB, 1995; CAKMAK; MARSCHNER, 1986). Raciocínio análogo pode ser feito quando o ambiente é a água, observando a interação macrófitas e sedimento. A deficiência de zinco em plantas, induzida por fósforo, ocorre em função da elevada disponibilidade de fósforo nos solos, decorrentes das adubações. Isto ocorre provavelmente devido a alguns fatores como: combinação do zinco com o  $H_2PO_4^-$ , diminuindo a sua disponibilidade; redução da disponibilidade do zinco por combinação com o cátion acompanhante do fosfato; precipitação do fosfato de zinco na superfície das raízes; redução no transporte do zinco das raízes para a parte superior por causa do alto nível de fosfato nos tecidos condutores; diminuição do teor de zinco da parte aérea por um efeito de diluição, isto é, devido ao maior crescimento por efeito da adubação fosfatada (CORRÊA *et al.*, 2002). Outros trabalhos realizados em diversos países relatam a interação entre fósforo e zinco. Para cada situação, uma hipótese é apontada como responsável pela explicação da referida interação. O fósforo pode aumentar a absorção de zinco pelas plantas, mas a interação só é negativa em condições de alta concentração de fósforo no meio e baixa concentração de zinco (OLIVEIRA, 2000), fato que ocorre no

---

<sup>25</sup> No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular ( $N_2$ ) liberado para a atmosfera, nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônio, nitrito e nitrato. O nitrogênio total é a soma do nitrogênio orgânico total e dos íons amônio, nitrito e nitrato.

ambiente estudado e que pode explicar a interação negativa no meio aquático. Não se encontrou nenhuma abordagem descrita na literatura para explicar a correlação negativa envolvendo os íons amônio e nitrato com o zinco; novos e mais abrangentes estudos devem ser efetuados para apresentar alguma justificativa.

## 5.6 INFLUÊNCIA DA ESTAÇÃO SECA E CHUVOSA NOS PARÂMETROS ESTUDADOS

Foi verificado através do Teste t de Student que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as estações seca e chuvosa para os parâmetros e os respectivos pontos amostrais, conforme apresentado na tabela 15:

**Tabela 15** - Parâmetros que apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as estações seca e chuvosa nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido

<b>Parâmetro</b>	<b>Ponto amostral (<math>p &lt; 0,05</math>)</b>
Temperatura do ar	Todos os pontos
Temperatura da água	Todos os pontos
pH	Todos os pontos
Cor	Todos os pontos
Condutividade	P1 e P2
Nitrato	P2
Coliformes totais	P1
Fe total	P1 e P2
Fe dissolvido	P1
Mn total	P1 e P3
Na dissolvido	P3
K total	P1
K dissolvido	P2
Ca total	P1 e P4
Ca dissolvido	P1 e P2

**Fonte:** o autor

A cor e a condutividade da água tendem a aumentar com a cheia e o teste estatístico confirmou os resultados. De acordo com a CETESB (2013c), a cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal inorgânico e orgânico, como os ácidos húmico e fúlvico (substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes nos vegetais). Diversos efluentes industriais (que não é o caso da Represa Dr. João Penido), bem como os esgotos domésticos, também se

caracterizam por apresentar predominantemente matéria orgânica em estado coloidal. Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água, como os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo, como os da região em estudo. Segundo a CETESB, ambientes considerados impactados possuem condutividade superior a 100  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (CETESB, 2013c), o que não ocorreu neste estudo. A cor apresentou diferença significativa para todos os pontos e a condutividade, apenas para P1 e P2.

O nitrato apresentou diferença significativa apenas no P2, sugerindo que a diluição e a oxigenação das águas favoreceram os processos de nitrificação neste ponto na cheia.

O pH de ecossistemas aquáticos tende a baixar com as águas de chuva, pois geralmente são ácidas (ESTEVEZ, 1998), fato que não foi observado neste estudo. Houve diferença significativa para todos os pontos, com médias superiores na estação chuvosa.

Coliformes totais são encontrados nos lançamentos de esgoto e nos terrenos da região em estudo, devido às diversas criações de gado existentes na área da bacia. A tendência é aumentar a sua concentração na água da represa e tributários com a cheia, havendo diferença significativa somente no P1.

Com relação aos metais citados na tabela 15, cabe ressaltar que são elementos presentes naturalmente nos solos e nos ambientes. Por isso sofrem forte influência das águas de chuva, confirmando o teste estatístico, principalmente no P1 e P2, cujas margens não possuem proteção de vegetação ripária.

Observa-se que os pontos P1 e P2 são os mais impactados pelas águas pluviais, por estarem mais próximos da zona de entrada dos tributários, que são desprovidos de mata ciliar. Este fato favorece o transporte de microrganismos, substâncias e sedimentos para a água, fato que foi confirmado pelo teste estatístico. São os pontos mais antropizados e de menor profundidade da represa. Sofrem forte influência de matéria orgânica proveniente de lançamentos de esgoto, daí a abundância de macrófitas nestas regiões. Por isso, são ambientes mais vulneráveis e as águas de chuva tendem a impactá-los ainda mais, através da poluição difusa e escoamento superficial.

Os pontos P1 e P2 também são os mais vulneráveis à pouca pluviosidade. Por estarem na região mais rasa da represa (zona fluvial) e serem muito antropizados, sofrem maior impacto causado pela pouca pluviosidade, como a que foi registrada em 2014 (total de 990,2 mm, de acordo com a EPRJP<sup>26</sup>). As intervenções humanas nestas áreas, juntamente com a falta de proteção das nascentes, da represa e dos tributários (principalmente Córrego Grama e

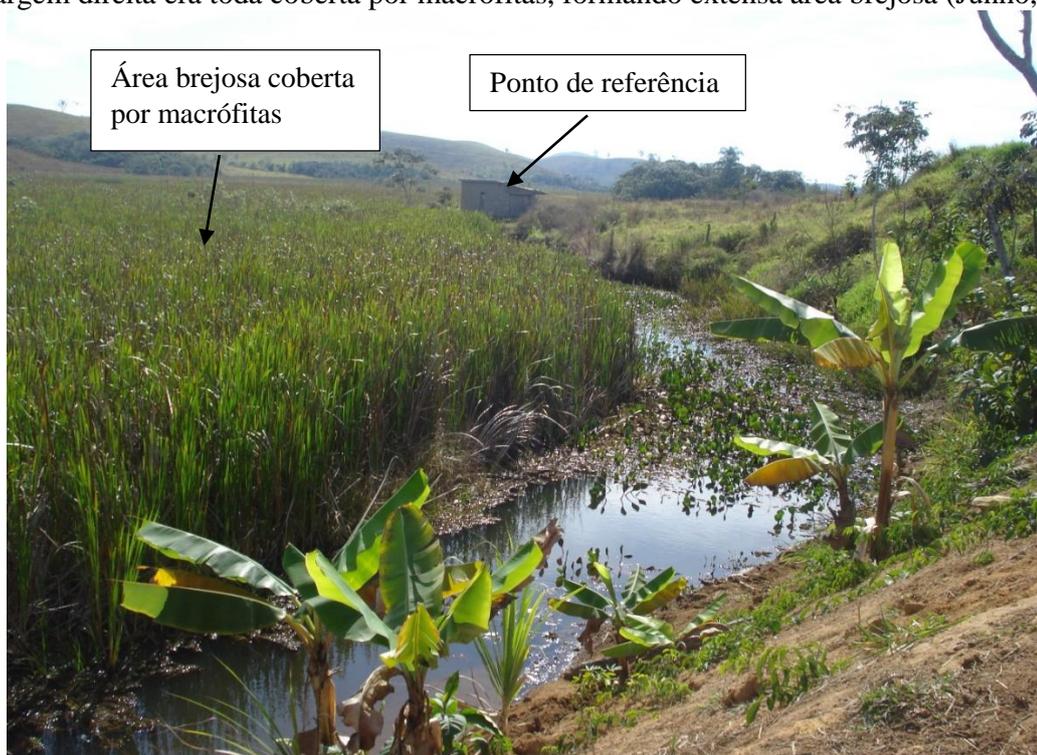
---

<sup>26</sup> A CESAMA não possuía o arquivo digitalizado referente à pluviosidade de 2014 e a consulta foi feita pela autora através dos registros manuais de controle diário na EPRJP.

Ribeirão dos Burros<sup>27</sup>), aliados aos processos de assoreamento e eutrofização que o manancial vem sofrendo, levaram àquele cenário de degradação observado, onde a represa secou nos braços onde se localizavam os pontos P1 e P2 deste estudo (fotografias 2, 3, 5 e 6, do item 1.1 deste estudo). Os efeitos meteorológicos também contribuíram para agravar esta situação. Isso mostra a baixa capacidade de resiliência do ambiente ao sofrer o stress provocado pela pouca pluviosidade. Se o ecossistema tivesse mais protegido por vegetação arbórea, com as matas ciliares e vegetação ripária preservadas, além de topos de morro florestados (APPs), talvez o cenário tivesse sido outro, menos devastador.

Com relação ao ponto P1, localizado na zona fluvial próximo à foz do Córrego Grama na represa, ainda existe uma peculiaridade que precisa ser abordada. No período compreendido entre 2009 e 2011, Bucci (2011) verificou que esta região era assim, conforme mostra a fotografia 9:

**Fotografia 9** - Córrego Grama, próximo à sua foz na Represa Dr. João Penido. Observar que a sua margem direita era toda coberta por macrófitas, formando extensa área brejosa (Junho, 2010).



**Fonte:** o autor.

---

<sup>27</sup> Não se pode deixar de considerar a degradação do Córrego Vista Alegre, um dos principais tributários da represa, cuja foz localiza-se em um dos braços que secaram.

Em 18 de julho de 2012, durante a campanha de coleta de água deste estudo, foi observado que esta mesma área apresentada na fotografia 9 sofreu grande interferência antrópica e estava conforme mostram as fotografias 10 e 11:

**Fotografia 10** - Córrego Grama, próximo à sua foz na Represa Dr. João Penido. Observar que a área brejosa foi transformada em espelho d'água, sem as macrófitas (Agosto, 2012).



**Fonte:** o autor.

**Fotografia 11** - A área brejosa coberta pelas macrófitas mostrada na fotografia 9 foi transformada, podendo inclusive ser percorrida de barco (Agosto, 2012).



**Fonte:** o autor.

O ambiente foi totalmente modificado. As macrófitas foram arrancadas ou cortadas e deixadas na água por moradores do local no primeiro semestre de 2012. Entende-se que o motivo foi abrir o “braço” da represa para que a água chegasse até algumas residências e loteamentos clandestinos à montante do local mostrado nas fotografias 9 a 11, pela sua beleza cênica. Os sedimentos e as plantas cortadas foram sendo levadas pelo fluxo hídrico até atingir a ETA. Conforme informações da CESAMA, concessionária responsável pela sua operação, desde o início do ano de 2012, os funcionários retiraram grandes quantidades de plantas que chegavam muito próximo à ETA, sendo necessário colocar barreiras de contenção na superfície da água. Elas oferecem risco para a operação da ETA, caso entrem no sistema de tratamento. À medida em que os resíduos (plantas e sedimentos) iam chegando na zona lacustre da represa, iam sendo retirados e dispostos às margens da via de acesso à ETA, conforme mostra a fotografia 12. Cerca de 200 caminhões foram necessários para retirar os resíduos do local para disposição final adequada, segundo informações da CESAMA.

**Fotografia 12** - Resíduos constituídos por macrófitas e sedimentos que foram retirados do espelho d’água da represa pela CESAMA, e depositados à margem da via de acesso à ETA, aguardando disposição final (Agosto, 2012).



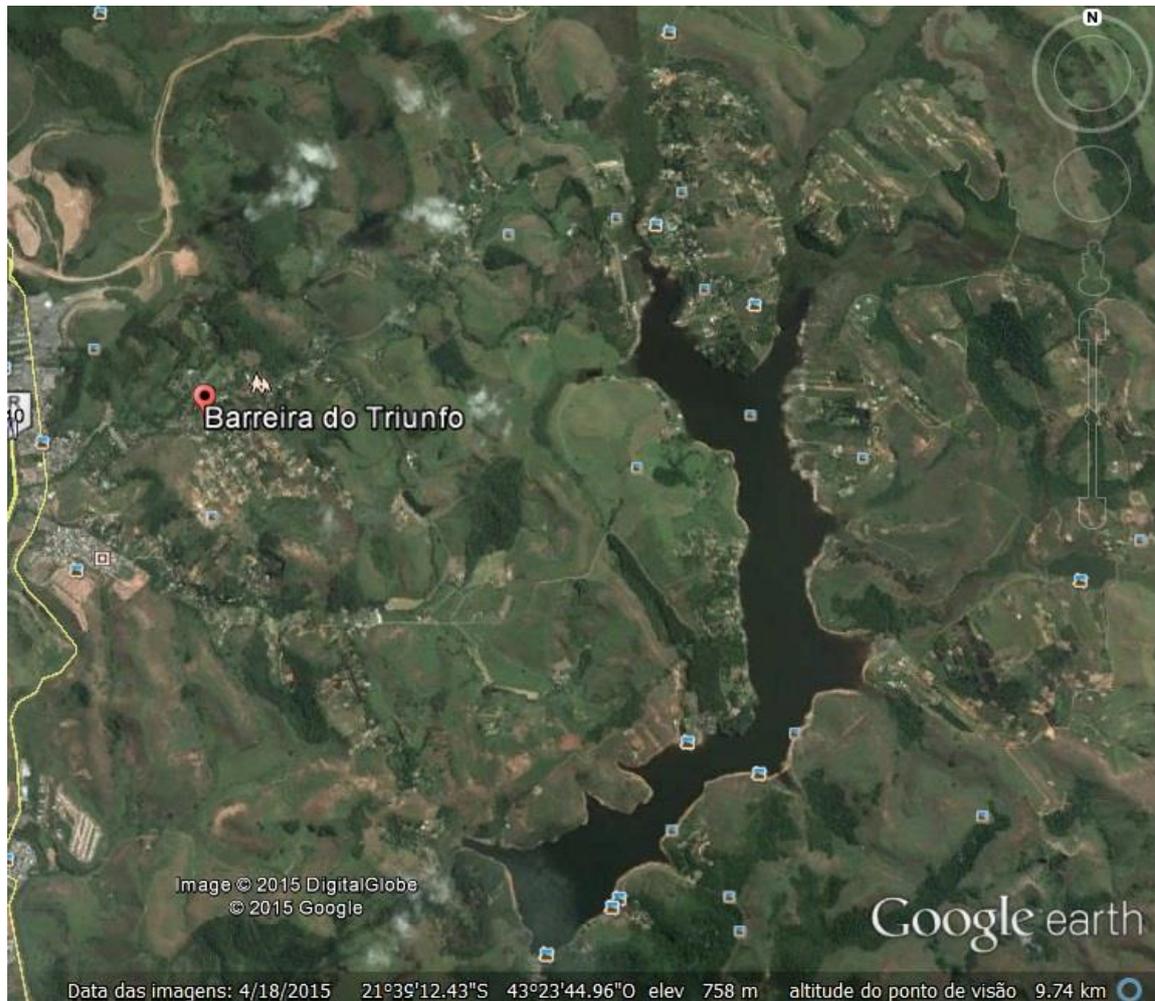
**Fonte:** o autor.

Estas intervenções citadas enfatizam que o ponto P1 é muito impactado por intervenções humanas e merece especial atenção para preservar o manancial. É necessário desenvolver estudos para o manejo e retirada adequada das macrófitas que são abundantes

nestas áreas, impedindo ou criando resistência para o fluxo normal da água dos córregos que abastecem a represa. O manejo das plantas deve ser criterioso, uma vez que elas também são benéficas e funcionam como um “filtro” para a água, retendo partículas, sedimentos, nutrientes e metais.

Fato que merece ser destacado é que ao final deste estudo, a realidade do manancial era outra: o espelho d’água desapareceu na região dos pontos P1 e P2, enfatizando a vulnerabilidade do sistema à pouca pluviosidade ocorrida em 2014. A morfologia da represa foi modificada na zona fluvial, onde o ecossistema lacustre começou a se transformar em ecossistema terrestre (fotografia 13).

**Fotografia 13** - Imagem de satélite mostrando a diminuição de volume d’água da represa, especialmente na região fluvial dos pontos P1 e P2.



**Fonte:** Google Earth.

## 5.7 SITUAÇÃO DE ALGUMAS NASCENTES DO RIBEIRÃO DOS BURROS, PRINCIPAL TRIBUTÁRIO DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO

Em visita técnica a uma das regiões da bacia hidrográfica, onde se localizam as nascentes do Ribeirão dos Burros em 12/02/2015, foi constatada total falta de proteção das mesmas e ausência de áreas florestadas, inclusive em topos de morro (Fotografias 14 a 25). Foram visitadas quatro nascentes, cujas coordenadas geográficas (UTM Datum SAD 69), que foram marcadas com GPS marca Garmim modelo *GPSmap 76CSx*, são: Nascente 1: 21° 34' 52,47" (S), 43° 21' 52,68" (W); Nascente 2: 21° 34' 51,87" (S), 43° 21' 53,65" (W); Nascente 3: 21° 34' 55,82" (S), 43° 21' 55,37" (W); Nascente 4: 21° 34' 52,64" (S), 43° 22' 4,81" (W) (Fotografias 14 a 25).

A área, que deveria ser protegida, sofre impacto proveniente do pisoteio de gado, prejudicando a frágil regeneração natural existente (Fotografias 20 e 21). Este fato torna a represa um ambiente ainda mais vulnerável, pois a área de recarga hídrica está degradada, desflorestada e totalmente prejudicada. Havia pouca quantidade de água emergindo das nascentes (Fotografias 22 e 23), que ao fluir pelo solo, formava pequenas lagoas à jusante das mesmas, que o gado utiliza para dessedentação. As áreas do entorno destas lagoas são utilizadas para pastagem e são desprovidas de vegetação arbórea (Fotografias 24 e 25).

É necessário promover o cercamento das nascentes com o objetivo de protegê-las e evitar que sejam mais degradadas. Torna-se relevante implantar projetos técnicos de reconstituição da flora em toda a bacia, priorizando as regiões de recarga hídrica e topos de morro, além da mata ciliar dos córregos e vegetação ripária ao longo de toda a represa, tendo em vista todo o cenário observado e descrito neste trabalho. Tal ação é fundamental para a manutenção da quantidade e qualidade da água armazenada no reservatório.

**Fotografia 14** - Acesso à área de recarga hídrica do Ribeirão dos Burros, onde se localizam as nascentes visitadas (Fevereiro, 2015).



**Fotografia 15** - Áreas de nascentes utilizadas para pastagem, destacando topos de morro com poucas áreas florestadas (Fevereiro, 2015).



Fonte: o autor.

**Fotografia 16** - Área próxima às nascentes desprovida de área florestada, com vegetação rasteira composta basicamente por gramíneas (Fevereiro, 2015).

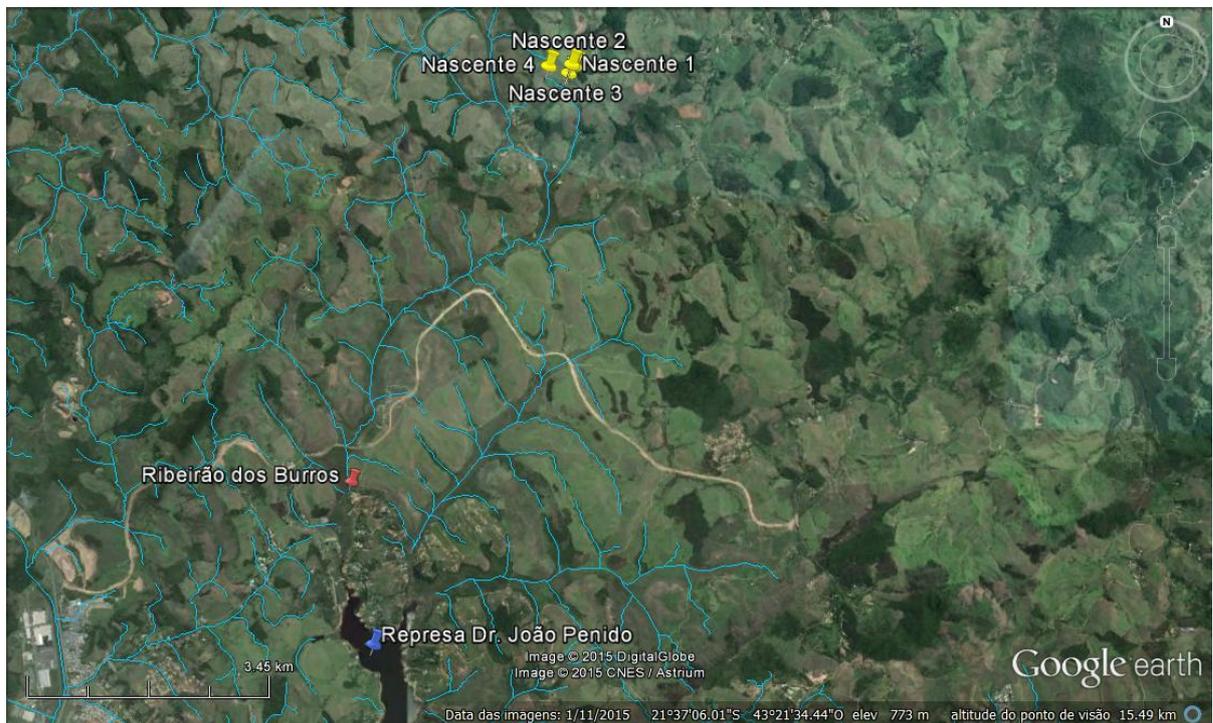


**Fotografia 17** - Área de surgência degradada pelo pisoteio do gado e topos de morro com poucas áreas florestadas (Fevereiro, 2015).



Fonte: o autor.

**Fotografia 18** - Imagem de satélite mostrando as 4 nascentes visitadas do Ribeirão dos Burros e a região da sua foz na Represa Dr. João Penido (Fevereiro, 2015).



Fonte: Google Earth.

**Fotografia 19** - Imagem de satélite mostrando as 4 nascentes visitadas do Ribeirão dos Burros, focando mais a área de recarga e a ausência de áreas florestadas (Fevereiro, 2015).



Fonte: Google Earth.

**Fotografias 20 e 21** - Espécies nativas do Bioma Mata Atlântica em processo frágil de regeneração natural, prejudicadas pelo pisoteio do gado.

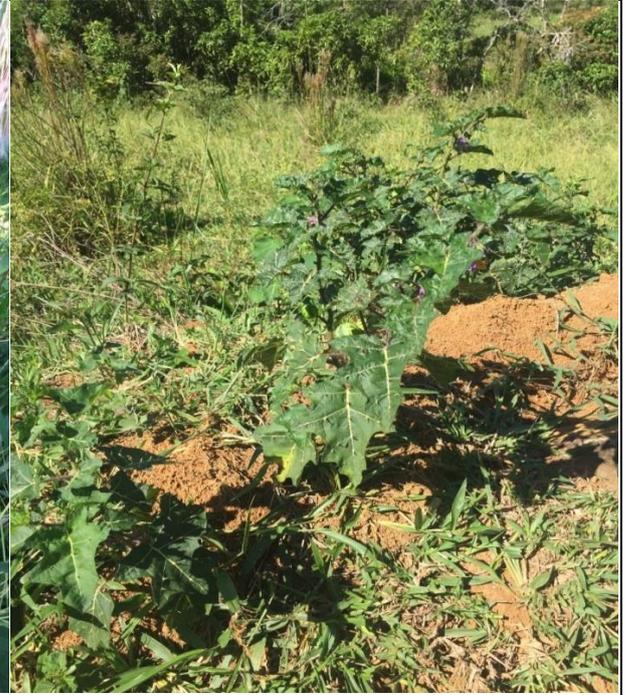
**Fotografia 20 -**

Nome vulgar: Assapeixe roxo  
 Nome científico: *Vernonia platensis*  
 Família: Compositatae (Fevereiro, 2015).



**Fotografia 21 -**

Nome vulgar: Joá  
 Nome científico: *Solanum palinacanthum*  
 Família: Solanaceae (Fevereiro, 2015).



Fonte: o autor.

**Fotografias 22 e 23** - Nascentes com pouca água emergindo do solo (Fevereiro, 2015).

**Fotografia 22**



**Fotografia 23**



Fonte: o autor.

**Fotografias 24 e 25** - Pequenas lagoas cobertas por macrófitas, formadas à jusante das nascentes. As áreas do entorno são desprovidas de vegetação arbórea e utilizadas para pastagem (Fevereiro, 2015).

**Fotografia 24**



**Fotografia 25**



**Fonte:** o autor.

## 5.8 A RODOVIA QUE LIGA O AEROPORTO REGIONAL DA ZONA DA MATA AO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA

Desde o ano de 2013, está em andamento a implantação e/ou melhoria do trecho da Rodovia MG 353, acesso rodoviário ao aeroporto Regional da Zona da Mata entre os municípios de Juiz de Fora e Coronel Pacheco. Um trecho desta importante via de acesso está sendo construído na região de recarga hídrica da Represa Dr. João Penido (fotografia 26). As obras são de responsabilidade do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e o seu processo de licenciamento ambiental iniciou-se em 2008. A Licença foi aprovada e concedida na 101ª Reunião Ordinária da Unidade Regional Colegiada Zona da Mata (URC/ZM) em 26/08/2013, conforme disposto no Parecer Único do licenciamento ambiental do empreendimento (MINAS GERAIS, 2013).

**Fotografia 26** - Obras da rodovia em andamento, próximas ao Ribeirão dos Burros (Julho, 2015).



**Fonte:** o autor

Apesar das medidas mitigadoras e compensatórias exigidas no processo, acredita-se que os impactos negativos sobre a bacia hidrográfica da represa são inevitáveis. Novos estudos devem ser realizados para investigar as consequências negativas, bem como para elaborar um plano de medidas corretivas e preventivas para a proteção deste importante manancial. O traçado da rodovia (MINAS GERAIS, 2013) mostra o trecho em que a mesma atravessa a região de recarga hídrica e de várias nascentes, em especial, de dois de seus principais afluentes, o Ribeirão dos Burros e o Córrego Grama.

A caracterização da qualidade da água destes cursos d'água antes da implantação da rodovia está apresentada no trabalho de Bucci (2011), onde foi feito o monitoramento mensal no período compreendido entre 2009 e 2010. O IQA de ambos afluentes foi predominantemente “Médio” e o IET “Mesotrófico”. Para o Córrego Grama, as médias de IQA e IET foram respectivamente 65,67 e 55,56. Para o Ribeirão dos Burros, 58,94 e 53,03. Foram observadas descargas de efluentes domésticos diretamente em pequenos tributários desta região, comprometendo a qualidade hídrica dos mesmos.

O monitoramento da qualidade da água da represa nos braços formados por estes afluentes foi realizado no presente estudo (pontos P1, referente ao braço formado pelo Córrego Grama e P2, ao Ribeirão dos Burros). Observou-se que estes pontos da represa foram

os mais vulneráveis às estações seca e chuvosa. Em 2014 e 2015, estes braços secaram sendo transformados em ambientes terrestres (Fotografias 1 a 6 do item 1.1 deste trabalho). O IQA do ponto P1 foi predominantemente “Bom” e do P2, “Médio”, quando havia água nesta região da represa; o IET de ambos os pontos foi predominantemente “Mesotrófico”. As médias do IQA para P1 e P2 foram respectivamente 70,97 e 64,00. Com relação ao IET foram 53,60 e 53,76, respectivamente.

Observa-se que as médias de IET não variam muito dos córregos para a zona fluvial da represa, mas nota-se uma sensível melhora do IQA dos pontos monitorados nos córregos para os pontos da represa correspondentes. Acredita-se que as macrófitas interferem nestes resultados porque têm a capacidade de absorver e reter partículas e nutrientes do corpo d’água. Existe abundância de diversas espécies de plantas aquáticas nestas regiões atuando como agentes depuradores e purificadores da água. A construção da estrada sobre esta área pode afetar este processo, e ainda contribuir para o assoreamento e sedimentação dos corpos d’água devido à movimentação de terra realizada no local. A degradação pode ocorrer ainda pela disposição inadequada de resíduos de construção às margens dos cursos d’água, como a que foi observada no principal tributário da represa, o Ribeirão dos Burros (fotografia 27).

**Fotografia 27** - Entulho das obras da rodovia sendo dispostos inadequadamente às margens do Ribeirão dos Burros (Fevereiro, 2015).



**Fonte:** o autor

Os estudos aqui apresentados mostraram a vulnerabilidade desta região fluvial do reservatório aos impactos sofridos pela pouca pluviosidade aliados às pressões antrópicas e desmatamentos, além de outros fatores, **já antes da rodovia ser construída**. No período entre 2013 e 2015, as obras já estavam ocorrendo nas proximidades desta área do manancial.

Ao longo do tempo, não se sabe ainda quais serão as consequências da realização destas obras para a Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido. O reservatório, seus afluentes e suas nascentes já se encontram bem degradados. Este estudo, bem como aquele realizado por Bucci (2011), mostram a qualidade hídrica da represa e de dois de seus importantes afluentes **antes da rodovia ser construída** e serão referências para estudos posteriores sobre os impactos desta obra de infraestrutura sobre a bacia hidrográfica do principal manancial de abastecimento de Juiz de Fora.

## 6 CONCLUSÕES

É notável que a Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido necessita de cuidados especiais para sua preservação. A especulação imobiliária na região atrai empreendimentos e as diversas ocupações irregulares vão contribuindo para o cenário de degradação e deterioração da qualidade e quantidade da água do manancial. Inclusive, o ambiente está tão vulnerável e com baixa capacidade de resiliência, que a pouca pluviosidade observada em 2014 causou grandes impactos na região fluvial do reservatório, havendo desaparecimento do espelho d'água nos braços formados por dois principais tributários: Córrego Grama e Ribeirão dos Burros. Este estudo evidenciou que o ecossistema lacustre está começando a se transformar em ecossistema terrestre, ao longo dos 80 anos de existência, desde que a represa foi construída. Medidas preventivas e corretivas devem ser tomadas com urgência por parte do poder público visando restaurar o ambiente aquático degradado e evitar a morte da represa.

**Destaca-se que as conclusões apontadas abaixo se referem ao período em que havia água nos pontos P1 e P2, fato que merece especial atenção de todos os atores envolvidos, enfatizando a urgência em preservar os recursos hídricos.**

Com relação às análises desenvolvidas neste estudo, a represa não apresentou sinais de contaminação por agrotóxicos, apesar da existência de áreas de cultivo na região.

Os níveis de metais na água são baixos, apesar dos lançamentos clandestinos de efluentes domésticos, com exceção do ferro dissolvido, que extrapolou os limites definidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) em 27,5 %, do total de 40 das amostras analisadas. Este metal é abundante nos solos da região. O zinco total ultrapassou os limites legais em apenas uma amostra do ponto P2.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que não atenderam aos padrões legais e suas respectivas porcentagens das amostras analisadas foram: OD (95,0 %), pH (2,5 %), DBO (100,0%), PT (42,5 %) e coliformes termotolerantes (15,0 %).

No período observado, houve predominância do IQA “Bom” e IET “Mesotrófico” na represa, com exceção do ponto P2, que apresentou IQA “Médio”. Os processos de eutrofização e assoreamento da represa precisam ser contidos através da aplicação de medidas corretivas e preventivas ao longo da bacia hidrográfica. Os pontos mais impactados são P1 e P2, localizados na zona fluvial do reservatório.

A represa mostrou-se mais vulnerável no período chuvoso, pela ausência de vegetação e áreas florestadas principalmente em seu entorno, observando-se predominância do estado “Mesotrófico” e índice de qualidade “Médio”. No período seco houve predominância do

índice de qualidade “Bom” e estado “Mesotrófico”, mas foi observado maior número de ocorrências do estado “oligotrófico” na seca (7) do que no período chuvoso (3).

As correlações positivas entre fósforo e amônio, bem como cálcio, potássio e sódio evidenciam a presença de esgotos domésticos no sistema, indicando interferências antropogênicas na qualidade hídrica do manancial. A influência do escoamento superficial e intemperismo na qualidade da água foram evidenciadas principalmente através das correlações positivas entre cálcio, potássio e sódio; cor e sólidos totais; cor e turbidez; turbidez e ferro, manganês e coliformes.

Há poucos estudos científicos na região da bacia da represa, em especial sobre a qualidade da água. Portanto, torna-se relevante desenvolver e incentivar pesquisas neste ambiente, sendo necessário ainda: realizar estudos para a proteção das áreas de nascentes, realizar análise de sedimentos, conhecer a geoquímica do reservatório, realizar batimetria da represa e estimar a vida útil do sistema, desenvolver processos para conter o assoreamento, a eutrofização e o aporte de fósforo para o manancial, desenvolver estudos sobre o manejo para a retirada das macrófitas da represa e de seus afluentes, desenvolver projetos de educação ambiental aliados aos projetos de reflorestamento da bacia, continuar o monitoramento do estado trófico e da qualidade da água do manancial, conhecer a biota do ecossistema, analisar a concentração de metais em organismos vivos, elaborar e executar projetos para a restauração do volume de água do reservatório, dentre outros.

Este estudo aqui apresentado fornece dados para subsidiar estratégias de preservação e restauração da qualidade e quantidade de água da represa. Para isso é **fundamental a proteção das nascentes e a recuperação florestal da bacia hidrográfica**. A cobertura vegetal protege mais os recursos hídricos e os ecossistemas ficam menos vulneráveis aos stress sofridos pelos ambientes. Os processos de eutrofização, assoreamento e sedimentação, bem como o aporte de fósforo para a represa precisam ser contidos. As regiões prioritárias para o início dos trabalhos são as áreas de maior declividade da bacia, as APPs incluindo as áreas de nascentes, topos de morro, bem como o entorno do reservatório, começando pela zona fluvial (pontos P1 e P2 deste estudo). Bucci (2011) também concluiu que a região de entrada dos tributários era prioritária para intervenções. Os afluentes merecem especial atenção e cuidado para restauração e preservação do ecossistema aquático. As intervenções são necessárias e urgentes.

É imprescindível a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de seus respectivos instrumentos, visando à gestão integrada e compartilhada da bacia hidrográfica, a fim de garantir a qualidade e quantidade da água oferecida à população.

Através desta pesquisa obteve-se uma pequena **série histórica de monitoramento**, juntamente com o trabalho de Bucci (2011), **tornando a Represa Dr. João Penido mais conhecida para a comunidade científica**. Foi relevante para registrar o atual cenário, servindo como parâmetro de comparação para futuros trabalhos na região, além de ter motivado a realização de outras pesquisas neste importante manancial de abastecimento de Juiz de Fora.

Parte deste trabalho foi publicada em revista internacional denominada *Lake and Reservoir Management* em 08 de maio de 2015, como forma de reconhecimento de sua importância para o meio acadêmico (BUCCI; DELGADO; OLIVEIRA, 2015).

## REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 3. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005.

ADEFEMI, S. O.; AWOKUNMI, E. E. Determination of physico-chemical parameters and heavy metals in water samples from Itaogbolu area of Ondo-State, Nigeria. **African Journal of Environmental Science and Technology**. v. 4, n. 3, p. 145-148, March, 2010.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Panorama Nacional. Atlas Brasil. Abastecimento urbano de água**. v.1. Brasília, DF: ANA, 2010.

\_\_\_\_\_. **Portal da Qualidade das Águas**. Avaliação da Qualidade. Águas superficiais. ANA, 2009. Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx> >. Acesso em: 16 ago. 2011.

ANVISA (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA). **Lei proíbe agrotóxico DDT em todo o país**. Brasília: ANVISA, 2009. Disponível em < <http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009/200509.htm> >. Acesso em: 26 fev. 2013.

AMARANTE JUNIOR, O. P. de *et al.* Breve revisão de métodos de determinação de resíduos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Quím. Nova**, São Paulo, v. 6, n. 2, Mar. 2003. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422003000200015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000200015&lng=en&nrm=iso) >. Acesso em: 03 fev. 2012.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION); AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION); WPCF (WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> edition. Washington: APHA, AWWA, WPCF, 1998.

ANDRADE, R. C. B. de; PATCHINEELAM, S. R. Especificação de metais-traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia e Rhizophora*. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 23, n. 6, p. 733-736. 2000.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS). NBR 9898. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

AGEVAP (ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL). **Clipping de notícias - CEIVAP/AGEVAP 23/01/2015**. Juiz de Fora [mensagem pessoal]. 2015. Mensagem recebida por magalybucci@gmail.com em 26 jan. 2015.

BAGGIO, H.; HORN, A. H. Natural and anthropogenic concentration and distribution of heavy metals in superficial water and current sediment in the Formoso river basin, Buritizeiro Municipality – MG, Brazil. In: International Lateinamerika – Kolloquium 2009. **Anais...** Göttingen, April 7-9, 2009.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBOSA, F. G.; WALLNER-KERSANACH, M.; BAUMGARTEN, M. G. Z. Metais-traço nas águas portuárias do estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** v. 16, n. 2, p. 27-36. 2012.

BARZAN, P. J. *et al.* Monitoramento do sistema barragem do Rio São Bento (Siderópolis/SC) – Avaliação da qualidade das águas superficiais utilizando o Índice de IET CETESB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: ABES, 2007. p. 1-7. Disponível em: < [http://www.saneamento.poli.ufrj/documentos/24CBES/IV\\_102.pdf](http://www.saneamento.poli.ufrj/documentos/24CBES/IV_102.pdf) >. Acesso em: 25 ago. 2009.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. p. 849-875.

BERNARDI, R. de; GIUSSIANI, G. Biomanipulação: Bases para o controle do topo para a base. In: BERNARDI, R. de; GIUSSIANI, G (Ed.). **Biomanipulação para o gerenciamento de lagos e reservatórios.** São Carlos: RiMa, 2001. p. 1-12.

BERRY, M. J. A.; LINOFF, G. **Data Mining techniques.** New York: John Wiley, 1997.

BRASIL. Decreto nº 87.561, de 13 de setembro de 1982. Dispõe sobre as medidas de recuperação e proteção ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 set. 1982. Seção 1, p. 17150. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-87561-13-setembro-1982-437707-norma-pe.html>>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 12 jul. 1989. Seção 1, p. 11459. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1989/lei-7802-11-julho-1989-356807-norma-pl.html> >. Acesso em: 12 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Seção 1, p.470. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-norma-pl.html> >. Acesso em: 15 set. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.936, de 14 de maio de 2009. Proíbe a fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloreto (DDT) e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 15 mai. 2009. Seção 1, p. 1. Disponível em: <

<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2009/lei-11936-14-maio-2009-588179-publicacaooriginal-112536-pl.html>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 mar. 2004. Seção 1, p. 266-270. Disponível em: <[http://www.aeap.org.br/doc/portaria 518 de 25 de marco 2004.pdf](http://www.aeap.org.br/doc/portaria%20518%20de%2025%20de%20marco%202004.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 30 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html>>. Acesso em 14 out. 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1. p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 14 out. 2012.

BUCCI, M. M. H. S. **Caracterização da qualidade da água na represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia)- Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. da; OLIVEIRA, L. F. C. de. Water quality and trophic state of a tropical urban reservoir for drinking water supply (Juiz de Fora, Brazil). **Lake and Reservoir Management**, v. 31, n. 2, p. 134-144, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10402381.2015.1029151>>. Acesso em: 08 jul. 2015.

BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e Índices de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 1, p. 130-148, Taubaté – Jan/Mar, 2014.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. **Physiologia Plantarum**, v. 68, p. 483-490, Nov, 1986.

CARDOSO, L. M. N.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 6. Salvador: Centro de Recursos Ambientais (CRA), 2001.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n.2, p. 361-369. 1977.

CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF–Brasil. **Quím. Nova**, v. 28, n. 4, p. 565-574, 2005.

CARVALHO, M. de. **Administração Municipal**. Belo Horizonte: Imprensa Oficial do Estado de Minas, 1940. p. 91-123 (acervo CESAMA).

CARVALHO, N.; BRUM, R. Estiagem leva mananciais a nível crítico na cidade. **Tribuna de Minas**, Juiz de Fora, 14 out. 2014. Disponível em: < <http://www.tribunademinas.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

COLLINS, C. H. **Introdução a métodos cromatográficos**. Campinas: Editora UNICAMP, 1997.

CBH PRETO E PARAIBUNA (COMITÉ DE BACIA HIDROGRÁFICA DOS AFLUENTES MINEIROS DOS RIOS PRETO E PARAIBUNA). **Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Índice de Qualidade das Águas (IQA). Juiz de Fora [mensagem pessoal]. 2012. Mensagem recebida por magalybucci@gmail.com em 24 set. 2012.

CETESB (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Águas Superficiais**. Publicações/Relatórios. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do estado de São Paulo. Apêndices e Anexos. Apêndice H. CETESB, 2012. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios> >. Acesso em: 01 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. **Qualidade da Água. Índices de Qualidade das águas**. IET. CETESB, 2013a. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Qualidade da Água. Índices de Qualidade das Águas. IQA**. CETESB, 2013b. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. Série Relatórios. Apêndices e Anexos. Apêndice A. Apêndice B. São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios> >. Acesso em: 10 fev. 2013.

\_\_\_\_\_. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012**. Série Relatórios. São Paulo: CETESB, 2013c. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios> >. Acesso em: 01 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2005**. Série Relatórios. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade> >. Acesso em: 01 jul. 2013.

CESAMA (COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL). Juiz de Fora. **Mananciais**. Represa Dr. João Penido. Disponível em: < <http://www.cesama.com.br> >. Acesso em: 27 out. 2011.

CORRÊA, F. L. de O.; SOUZA, C. A. S.; CARVALHO, J. G. de; MENDONÇA, V. Fósforo e zinco no desenvolvimento de mudas de aceroleira. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal (SP), v. 24, n. 3, p. 793-796, Dezembro, 2002. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v24n3/15144> >. Acesso em 30 abr. 2015.

COTRIM, M. E. B. **Avaliação da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Ribeiro do Iguape com vistas ao abastecimento público**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear)- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DORES, E. F. G. de C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise preliminar. **Quím. Nova**, v. 24, n. 1, p. 27-36, 2001.

DUARTE, B. P.; HEILBRON, M.; NETO, M. da C. C. Granulite/Charnockite from the Juiz de Fora Domain, Central Segment of the Brasiliano Ribeira Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 30, n. 3, p.358-362. Set. 2000. Disponível em: < [http://sbgeo.org.br/pub\\_sbg/rbg/vol30\\_down/3003/3003358.pdf](http://sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol30_down/3003/3003358.pdf) >. Acesso em: 15 set. 2011.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Correlação Pedológico-Geotécnica do Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009a. Disponível em: < [http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/doc117\\_2009\\_pedologia\\_rio\\_de\\_janeiro.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/doc117_2009_pedologia_rio_de_janeiro.pdf) >. Acesso em: 01 out. 2011.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009b. Disponível em: < [http://www.solos.ufmt.br/docs/esp/SIBCs\\_2009.pdf](http://www.solos.ufmt.br/docs/esp/SIBCs_2009.pdf) >. Acesso em: 02 out. 2011.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: editora Interciência, 1998.

FARKAS, A. *et al.* Metal pollution as health indicator of lake ecosystems. **International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health**, v. 14, n. 2, p. 163-170, 2001.

FERNANDES, L. F.; WOSIACK, A. C.; PACHECO, C.V.; DOMINGUES, L. LAGOS, P. D. Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Finep, 2005. p. 303-366.

FERREIRA, A.G.; MACHADO, A. L. dos S.; ZALMON, I. R. Temporal and spatial variation on heavy metal concentrations in the bivalve *Perna perna* (LINNAEUS, 1758) on the northern coast of Rio de Janeiro State, Brazil. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba, v. 47, n.2, p. 319-327, Jun. 2004.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1983.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D. C. O.; LEITE, M. A. Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, 2007, Caxambu. **Anais eletrônicos...** Caxambu: SEB, 2007. p. 1-2. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/1886.pdf> >. Acesso em: 21 dez. 2011.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data Mining: concepts and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.

IBGE. **Manual Técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_ge\\_omorfologia.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_ge_omorfologia.pdf) >. Acesso em: 15 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Sinopse do censo demográfico 2010 Brasil**. Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/> >. Acesso em: 28 out. 2011.

IGAM (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DA ÁGUAS). **Índice de Qualidade da Água (IQA)**. Juiz de Fora [mensagem pessoal]. 2010. Mensagem recebida por magalybucci@gmail.com em 10 fev. 2010.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais em 2012. Resumo Executivo**. 2013. Belo Horizonte: IGAM, 2013.

\_\_\_\_\_. **Qualidade da Água apresenta melhoria nos últimos três anos**. 2014. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/1478-qualidade-da-agua-apresenta-melhoria-nos-ultimos-tres-anos> >. Acesso em: 06 abr. 2014.

INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL). **Rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades na Acreditação de Laboratórios**. 2007. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/DICLA/NIT/NIT-DICLA-30\\_02.pdf](http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/DICLA/NIT/NIT-DICLA-30_02.pdf) >. Acesso em: 11 set. 2011.

ILEC (INTERNATIONAL LAKE ENVIRONMENT COMMITTEE FOUNDATION). **Integrated Lake Basin Management: An Introduction**. International Lake Environment Committee Foundation: Kusatsu, Japan. 2007. Disponível em: [http://www.ilec.or.jp/eg/pubs/ILBM/ILBM\\_Report\\_E\\_07oct02.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/pubs/ILBM/ILBM_Report_E_07oct02.pdf) > Acesso em: 30 jul. 2011.

JACKSON, J. Heavy metals and other inorganic toxic substances. In: MATSUI, S. (Ed.). **Guidelines of lake management**. v. 4. Toxic substances management in lakes and reservoirs. Otsu: International Lake Environment Committee Foundation (ILEC)/ United Nations Environment Programme (UNEP). 1992. p. 65-80.

JAMES, R. T.; POLLMAN, C. D. Sediment and nutrient management solutions to improve the water quality of Lake Okeechobee. **Lake Reserv. Manage.**,v. 27, p. 28-40. 2011.

JUIZ DE FORA (Prefeitura). **Anuário Estatístico de Juiz de Fora 2009**. Banco de dados 2009. Juiz de Fora, 2009. Disponível em: < [www.pjf.mg.gov.br](http://www.pjf.mg.gov.br) >. Acesso em: 25 set. 2011.

\_\_\_\_\_. **Dados pluviométricos de Juiz de Fora**. Subsecretaria de Defesa Civil. Disponível em: < [http://pjf.mg.gov.br/subsecretarias/defesa\\_civil/dados\\_pluviometricos.php](http://pjf.mg.gov.br/subsecretarias/defesa_civil/dados_pluviometricos.php) >. 2015a. Acesso em: 15 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 11.641, de 22 de julho de 2013. Suspende, em caráter temporário, a emissão de licenças e autorizações nas áreas que menciona. **Diário Oficial Eletrônico do Município de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, 23 jul. 2013. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 12.274, de 27 de fevereiro de 2015. Altera o Decreto nº 11.641, de 22 de julho de 2013. **Sistema JFLegis**, Juiz de Fora, 27 fev. 2015. 2015b. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Juiz de Fora sempre**. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano. FUNALFA Edições. Juiz de Fora, 2004.

\_\_\_\_\_. Lei nº 1.431, de 02 de junho de 1961. Estabelece medidas de defesa das águas da Represa Dr. João Penido. **Sistema JFLegis**, Juiz de Fora, 02 jun. 1961. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6.087, de 04 de dezembro de 1981. Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica da Represa Dr. João Penido, em Juiz de Fora e contém outras providências. **Sistema JFLegis**, Juiz de Fora, 04 dez. 1981. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 7.255, de 15 de dezembro de 1987. Proíbe a utilização da Represa Dr. João Penido para fins incompatíveis com sua destinação. **Sistema JFLegis**, Juiz de Fora, 15 dez. 1987. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.811, de 27 de junho de 2000. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. **Tribuna de Minas**, Juiz de Fora, 28 jun. 2000. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.817, de 04 de agosto de 2009. Altera a Lei Municipal nº 6087, de 4 de dezembro de 1981, e dá outras providências. **Diário Regional**, Juiz de Fora, 6 ago. 2009. Disponível em: <[http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_numero\\_exec.php](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_numero_exec.php)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Ortofoto do voo aerofotogramétrico 2007**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico (SPDE). Juiz de Fora, 2007.

\_\_\_\_\_. **Localização da bacia de contribuição da Represa Dr. João Penido, inserida no município de Juiz de Fora (Minas Gerais, Brasil)**. Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG). Juiz de Fora, 2015c. Não publicado.

\_\_\_\_\_. **Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido**. Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG). Juiz de Fora, 2015d. Não publicado.

\_\_\_\_\_. **Principais Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Paraibuna de Juiz de Fora (MG)**. Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG). Juiz de Fora, 2015e. Não publicado.

\_\_\_\_\_. **Unidades de mapeamento de solos da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido**. Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG). Juiz de Fora, 2015f. Não publicado.

\_\_\_\_\_. **Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido**. Secretaria de Planejamento e Gestão (SEPLAG). Juiz de Fora, 2015g. Não publicado.

KIMMEL, B. L.; LIND, O.T.; PAULSON, L. J. Reservoir primary production. In: THORTON, K.W; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F.E. (Ed.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley. 1990. p.133-193.

LABORATÓRIO BIOAGRI - A MÉRIEUX NUTRISCIENCES COMPANY. **Condições operacionais do sistema (ICP-MS)**. Juiz de Fora [mensagem pessoal]. 2012a. Mensagem recebida por [magalybucci@gmail.com](mailto:magalybucci@gmail.com) em 23 nov. 2012.

\_\_\_\_\_. **Metodologia utilizada nas análises de metais e agrotóxicos nas águas da Represa Dr. João Penido**. Juiz de Fora [mensagem pessoal]. 2012b. Mensagem recebida por [magalybucci@gmail.com](mailto:magalybucci@gmail.com) em 23 nov. 2012.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências na área de ecossistemas terrestres e aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LAWALL, S.; COSTA, R. G. S.; ROCHA, G. C. Importância dos dados ambientais na gestão urbana: um estudo de caso na Bacia do Córrego Independência, Juiz de Fora, Minas Gerais. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6, 2006, Goiânia. **Anais...** Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006. p. 1-11. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/370.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2011.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa** (tradução da 5ª edição inglesa). São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1996.

LEME ENGENHARIA S.A. **Plano Diretor de Abastecimento de Água da Área Urbana de Juiz de Fora**. Recursos Hídricos. vol. IV/IX. Prefeitura de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 1985.

LIMA, I. V. de; PEDROZO, M. de F. M. **Ecotoxicologia do ferro e seus compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 4. Salvador: Centro de Recursos Ambientais (CRA), 2001.

LIMA, J. G. **Elementos químicos nas águas e sedimentos do Rio Piracicaba, afluente do Rio Doce – MG**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**. Terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3. ed. Nova Odessa (SP): Instituto Plantarum, 2000.

MACHADO, F. B. *et al.* **Atlas de Rochas**. [on-line]. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em: 01 out. 2011.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994.

MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos)- Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-16052006-121526/>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

MENEZES, C. T.; HELLER, L.; Proposta de metodologia para priorização de sistemas de abastecimento de água para vigilância da presença de agrotóxico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande, MS. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), p. 1-13, 2005.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa nº 16, de 24 de setembro de 1996. Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna. **Diário do Executivo - Minas Gerais**, 02 out. 1996. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=113>>. Acesso em 03 out. 2012.

\_\_\_\_\_. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM); Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. 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. **Diário do Executivo – Minas Gerais, 13 mai. 2008**. Retificação – Diário do Executivo – Minas Gerais, 20 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

\_\_\_\_\_. Governo do Estado de Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Subsecretaria de Gestão e Regularização Ambiental Integrada. Superintendência Regional de Regularização Ambiental da Zona da Mata. **Parecer Único de Adendo n.º 1186621/2013 ao Parecer Único nº 59954/2010 (SIAM)**. 2013. Disponível em: <[file:///C:/Users/Ronaldo/Downloads/Item\\_6.1\\_-\\_DER\\_-\\_Trecho\\_juiz\\_de\\_Fora\\_Coronel\\_Pacheco\\_Aeroporto\\_regional\\_da\\_Zona\\_da\\_aAta.pdf](file:///C:/Users/Ronaldo/Downloads/Item_6.1_-_DER_-_Trecho_juiz_de_Fora_Coronel_Pacheco_Aeroporto_regional_da_Zona_da_aAta.pdf)>. Acesso em 10 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.793, de 2 de julho de 1992. Dispõe sobre a proteção de mananciais destinados ao abastecimento público no Estado. **Diário do Executivo - Minas Gerais**, Belo

Horizonte, 03 jul. 1992. Disponível em: <  
<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=63>>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário do Executivo - Minas Gerais**, Belo Horizonte, 30 jan. 1999. Disponível em: <  
[www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=Lei&num=13199&comp=&ano=1999](http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=Lei&num=13199&comp=&ano=1999)>. Acesso em 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério Do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA)**: estabelecimento de equações do índice de qualidade das águas (IQA). Relatório 1, 2005. Belo Horizonte: MMA/SEMAD, 2005.

\_\_\_\_\_. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais: Legenda Expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

NETO, M. de L. F.; SARCINELLI, P. de N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 14, n.1, p. 69-78, Jan/Mar, 2009.

NÜRNBERG, G. Eutrophication and trophic state. **Lakeline**. Spring, p. 29-33. 2001.

OGA, S; CAMARGO, M. M. A; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

OLIVEIRA, P. R. A. **Efeito do fósforo e zinco na nutrição e crescimento de mudas de mamoeiro e mangabeira**. 2000. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

PAOLIELLO, M. M. B.; CHASIN, A. A. M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Série Cadernos de Referência Ambiental. v. 3. Salvador: Centro de Recursos Ambientais (CRA), 2001.

PARANÁ. Minerais do Paraná (Mineropar). **Serviço Geológico do Paraná**. Curitiba, 2009. Disponível em:  
 < <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=A> >. Acesso em: 21 set. 2011.

PEREIRA, M. J. A. **Estudos limnológicos preliminares da represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG**. 1991. Monografia (pós-graduação *latu sensu* em Ecologia e Manejo de Águas Interiores). Universidade de São Carlos. São Carlos, 1991.

PERENSIN, R. **Análise da evolução do processo de assoreamento da represa Dr. João Penido**. 1998. Monografia. (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 1998.

PINDER, J. R. Lakes, landscapes and locals: Pooling partnership resources to create sustainable lake catchments. **Lakes Reserv. Res. Manage.** v. 18, p.15-25. 2013.

QUEIROGA, Glaucia Nascimento; SOARES, Antonio Carlos Pedrosa. **Caracterização de restos de litosfera oceânica do Orógeno Araçuaí entre os paralelos 17° e 21°S.** 2010. 180 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. cap. 2.

RAST, W.; THORNTON, J. A. Trends in eutrophication research and control. **Hydrological processes**, v. 10, p. 295-313, 1996.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza.** 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

ROCHA, G. C. **Riscos ambientais.** Análise e mapeamento em Minas Gerais. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2006.

ROCHA, A. A.; BRANCO, S. M. **Proposições básicas para a proteção ambiental da represa Dr. João Penido em Juiz de Fora, MG.** São Paulo: CETESB, 1986.

Disponível em: < <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=116575&indexSearch=ID> >. Acesso em: 30 mar. 2010.

SALAS, H. J.; P. MARTINO. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research.** v. 25, n. 3, p. 341-350, 1991.

SCHÄFFER, W. B.; PROCHNOW, M. (org). **A Mata Atlântica e você.** Como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira. Brasília: APREMAVI, 2002.

SHACAT, J. A. *et al.* The Geochemistry of Lake Joyce, McMurdo-Dry Valleys, Antarctica. **Aquatic Geochemistry**, v. 10, p. 325-352, 2004.

SHETTY, K. G.; HETRICK, B. A. D.; SCHWB, A.P. Effects of mycorrhizae and fertilizer amendments on zinc tolerance of plants. **Environmental Pollution**, v. 88, 1995, p. 307-314.

SILVA, C. da. **Metais pesados em peixes (*Micropogonias furnieri* e *Cynoscion acoupa*) e ostras (*Crassostrea brasiliiana*), oriundos da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil.** 2009. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária)- Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

SILVA, N. da *et al.* **Manual de métodos de análise microbiológica da água.** São Paulo: Varela editora e livraria Ltda, 2005.

SIMONOVIC, S. P. World water dynamics: global modeling of water resources. **Journal of Environmental Management**, v. 66, p. 249-267, 2002.

SOARES, M. C. S. *et al.* The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v. 13, p. 257-269. 2008.

SOUZA, A. D. G. de; TUNDISI, J. G. Hidrogeochemical comparative study of the Jaú and Jacaré-Guaçu River Watersheds, São Paulo, Brazil. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 60, n. 4, p. 563-570. 2000.

SOUZA, L. C. de P. *et al.* Estudo do meio físico na avaliação de bacias hidrográficas utilizadas como mananciais de abastecimento. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Finep, 2005. p. 123-157).

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009.  
STANTON, A. G. **Primer of biostatistics – Version 4.0**. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 1997.

THORNTON, K. W. Sedimentary process. In: Thornton KW, Kimmel BL, Payne FE, editors. **Reservoir limnology: Ecological perspectives**. New York: John Wiley and Sons. 1990. p. 43-69.

TÜZEN, M. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Food chemistry**, v. 80, p. 119-123, 2003.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Chromium in Drinking Water**. USEPA, 2011a. Disponível em: < <http://water.USEPA.gov/drink/info/chromium/index.cfm> >. Acesso em: 01 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **Ecological Toxicity Information**. USEPA, 2011b. Disponível em: < <http://www.USEPA.gov/region5superfund/ecology/html/toxprofiles.htm#cd> >. Acesso em: 02 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **Method 3510C. Separatory funnel liquid-liquid extraction**. 1996. Disponível em: < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3510c.pdf> >. Acesso em: 28 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. **Method 6020A Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry**. 2007a. Disponível em: < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6020a.pdf> >. Acesso em: 28 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. **Method 8270 D Semivolatile Organic Compounds By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)**. 2007b. Disponível em: < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8270d.pdf> >. Acesso em: 28 ago. 2011.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Instituto de Geociências. **Glossário Geológico Ilustrado**. Brasília, 2010. Disponível em: < <http://vsites.unb.br/ig/glossario/index.html> >. Acesso em: 21 set. 2011.

VALENTE, E. João Penido corre risco de secar. **Tribuna de Minas**, Juiz de Fora, 25 jan. 2015. Disponível em: < <http://www.tribunademinas.com.br/> >. Acesso em: 26 jan. 2015.

VEIGA, M. M. *et al.* Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11. p. 2391-2399, nov., 2006.

VIEIRA, S. **Análise de variância ANOVA**. São Paulo: Atlas, 2006.

VON SPERLING, E. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG), 1999.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Guidelines for Drinking-Water Quality**. 4<sup>th</sup> ed. Geneva: WHO, 2011.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Quím. Nova**, v. 21, n. 5, p. 551- 556, 1998.

## GLOSSÁRIO DE TERMOS GEOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS

**Álico:** solo que contém concentrações de alumínio superiores a 50%, podendo chegar a 95% (JUIZ DE FORA, 2004).

**Anfibolito (Rocha Anfibolítica):** rocha metamórfica que tem a homblenda e o plagioclásio como paragênese característica. Pode ou não conter quartzo e se o teor em quartzo aumentar acima de 10%, o anfibolito gradua para anfibólito (mineral pertencente ao grupo dos silicatos ferromagnesianos) plagioclásio gnaisse (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010). É formada principalmente por anfibólitos e feldspato plagioclásio. O feldspato é um dos minerais mais importantes, constituídos principalmente por silicatos de Al com K, Na e Ca e, raramente Ba, e em menor extensão os elementos Fe, Pb, Rb e Cs (PARANÁ, 2009). O termo plagioclásio refere-se ao grupo de minerais feldspáticos com composição variando entre  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  e  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ; rocha de composição química básica (MACHADO *et al.*, 2011).

**Bandados (bandamento):** [*Sin.*] bandas metamórficas; estrutura de foliação metamórfica em bandas, geralmente milimétricas a centimétricas, cuja composição, granulometria e textura variam conforme a rocha (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010); textura de rochas contendo bandas ou faixas delgadas e quase paralelas de diferentes minerais, texturas e cores (PARANÁ, 2009).

**Biotita:** mineral silicato hidratado de Mg, Fe, K, Al e Ti do grupo das micas (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010), também chamado “mica negra”. É um silicato hidratado ferro-magnesiano pertencente à família dos granitos. Aparece comumente em quase todas as rochas ígneas e em algumas metamórficas e sedimentares (GUERRA; GUERRA, 2001).

**CAMBISSOLOS:** *Cambi* (“*Cambiare*”): significa trocar, mudar; são solos desenvolvidos a partir de rochas cristalinas e/ou depósitos de encostas. Apresentam horizonte B incipiente e fragmentos de rochas na matriz argilosa, sendo que a relação silte/argila  $> 0,7$ . São ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis (EMBRAPA, 2009a, 2009b).

**CAMBISSOLOS HÁPLICOS:** Outros tipos de solo que não se enquadram nas classes “húmicos” ou “flúvicos” (EMBRAPA, 2009b).

**CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos:** Solos com argila de atividade baixa e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2009b).

**Dissecação (relevo dissecado):** dissecação caracteriza-se por alta densidade de incisões resultantes da atuação predominante da erosão pluvial sob a forma de escoamento concentrado (IBGE, 2009).

**Distrófico:** caracteriza-se pela presença de saturação por bases inferior a 50% (JUIZ DE FORA, 2004) (EMBRAPA, 2009b).

**GLEI:** é um tipo de solo argiloso, rico em matéria orgânica e que se desenvolve em áreas alagadas por longos períodos (GUERRA; GUERRA, 2001).

**GLEISSOLOS:** esta classe abrange, dentre outros, os solos da classificação antiga denominados Glei Pouco Húmico (EMBRAPA, 2009a).

**Gnaiss:** rocha metamórfica essencialmente quartzo-feldspática, granulação frequentemente média a grossa; a estrutura é muito variável, desde maciça, granitóide, com foliação dada pelo achatamento dos grãos, até bandada, quartzo-feldspáticas alternadas com bandas mais máficas, derivada de processos de segregação metamórfica que culminam em rochas migmatíticas (mistura de fácies de rochas metamórficas na qual, pelo menos, um componente é representado por material granítico ou granitoide) (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Gondito:** rocha metamórfica cujos componentes principais são a granada manganésifera e o quartzo (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010); rocha escura devido à presença de Mn (MACHADO *et al.*, 2011).

**Granada:** grupo de minerais ortossilicáticos que podem conter em sua composição os seguintes elementos: Ca, Mg, Fe, Mn, Al, V e Cr (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Granítico:** que tem natureza do granito; rocha eruptiva composta de três minerais essenciais: quartzo, feldspato alcalino e mica (GUERRA; GUERRA, 2001).

**Granulito (Granulítico):** rocha metamórfica de estrutura foliada e maciça, cuja mineralogia principal é feldspato potássico, plagioclásio, quartzo; composição química geralmente cálcio-alcalina (MACHADO, 2011).

**Homblenda:** mineral do grupo dos anfibólios, monoclinico, aluminoso e cálcico:  $\text{Ca}_2(\text{MgFe})_4\text{Al}[\text{Si}_7\text{AlO}_{22}](\text{OH})_2$  (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**LATOSSOLOS:** *Lat:* significa material muito alterado; apresentam horizonte B latossólico. São solos enriquecidos em Fe, Al e seus respectivos óxidos e hidróxidos (EMBRAPA, 2009a, 2009b). Apresentam os horizontes minerais A-B-C, tendo como horizonte diagnóstico, o horizonte B latossólico (horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização). Esse horizonte é constituído por uma fração argila de baixa atividade, contendo quantidades variáveis de caulinita (argilomineral), bem como,

óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. O intemperismo é de evolução avançada, atuando expressivamente no processo de latolização (ferralitização ou laterização). Estão distribuídos em áreas de relevo suave ondulado, forte ondulado e montanhoso. Em muitas áreas estão associados a Cambissolos e são formados a partir de depósitos coluvionares, tendo como substratos rochas metamórficas e ígneas. Sob o ponto de vista geotécnico, são solos não saturados, cuja fração argila é de baixa atividade. Apesar das boas características físicas destes solos, quando ocorrem em relevo forte ondulado e montanhoso devem ser destinados à preservação ambiental (EMBRAPA, 2009a, 2009b).

**LATOSSOLOS AMARELOS:** Solos com matiz 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2009b).

**LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos:** Solos apresentando baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2009b).

**LATOSSOLOS VERMELHOS:** Solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2009b).

**LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS:** Outros solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas classes anteriores (EMBRAPA, 2009b).

**LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos:** Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2009b).

**LAd4:** LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (40 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico textura argilosa relevo forte ondulado (40 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso fase pedregosa e não pedregosa (20 %) (MINAS GERAIS, 2010).

**LVAd59:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A: solo moderado e proeminente textura argilosa relevo forte ondulado (60 %) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico textura muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado (20 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado textura média e argilosa relevo forte ondulado e montanhoso (20 %) (MINAS GERAIS, 2010).

**NEOSSOLOS:** *Neo*: significa novo; pouco desenvolvido (EMBRAPA, 2009a); São solos pouco evoluídos, que apresentam sequência de horizontes A-R ou A-C, não tendo um horizonte B bem definido. Os Neossolos Litólicos, apresentam sequência de horizontes A-R, A-Cr ou A-C. Sob o ponto de vista geotécnico, os Neossolos Litólicos estão associados a

Cambissolos e afloramentos de rocha. Ocupam áreas de relevo forte ondulado e montanhoso (EMBRAPA, 2009b).

**Ortognaisse:** gnaisse de origem ígnea (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Paragnaisse:** gnaisse de origem sedimentar (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Paragênese:** compostos de minerais que evoluíram ao longo do tempo com equilíbrio geoquímico e termodinâmico (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Rocha Calcissilicática:** rocha metamórfica, maciça ou bandada, composta por minerais cálcio-silicáticos (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Sedimentos:** são materiais originados por intemperismo e erosão de rochas e solos, que são transportados por agentes geológicos (vento, rio, correntes, dentre outros), e que se acumulam em locais mais baixos. Os **sedimentos fluviais** são aqueles transportados por rios, cursos d'água ou bacias de drenagem, e os **coluviais**, aqueles que são misturados com solos e fragmentos de rochas trazidos de zonas mais altas. A gravidade, enxurradas e avalanches com deslizamentos de solos e rochas trazem material que se mistura com o solo local da encosta para formar o coluvião (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Sillimanita:** mineral alumossilicato, composto principalmente de  $Al_2SiO_5$  (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**Solo Aluvial:** é aquele onde o perfil não se apresenta perfeitamente desenvolvido, podendo sofrer grande influência da natureza geológica da rocha ou do tipo de topografia. É constituído de detritos ou sedimentos que foram arrancados de outras áreas mais altas e depositados em zonas mais baixas (GUERRA; GUERRA, 2001).

**Tonalítico (Tonalito):** rocha ígnea plutônica com componentes essenciais quartzo, plagioclásio (K feldspato subordinado); biotita e/ou hornblenda geralmente importantes (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2010).

**APÊNDICE A - Estação Pluviométrica da Represa Dr. João Penido (2011-2013) (continua)**

Dados de precipitação ano de 2011 (mm chuva)												
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul*	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	16,7	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5
2	15,4	0	15,5	0	3,4	0	0	0	0	0	0	9,4
3	20	0	14,98	8,1	0,1	0	0	8,4	0	4,8	0	0,3
4	54,7	0	14,7	10,8	0	0	0	1	0	0	0	0
5	48	0	49,3	16	0,1	0	0	0	0	0,3	0	0,1
6	0,1	0	27,6	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
7	0	0	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
8	0	0	14,6	0	0	4,8	0	0	0	0	0	31,5
9	0	0	0,4	17	0	12,2	0	0	0	3,8	0	15,5
10	48,3	0	2	3,1	0	0,1	0	0	0	0	0	15,3
11	55,6	0	0,4	0	0,2	0	0	0,7	0	0,1	0	0
12	10,4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	55,8	0	58,44	0	0	0	0	0	0	15,7	0,8	2,5
14	22,8	0	1,8	0	0	0	0	0	0	3	17,8	0
15	6,3	0	2,9	0	2,2	0	0	0	0	9,6	19,8	41,1
16	0	0	0	0	3,1	0	0	0	1	18,4	1,7	4,3
17	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	9,5	0,6	5
18	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	3,4	0	1,7
19	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0,3	0	10	23,3
20	0	0	7	0	0,1	0	0	0	0	1	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
22	0	27	0,1	0	0	0,1	0	0,3	0	7,9	4,5	0,3
23	0	10,8	0	0	0	0	5,5	0,1	0	12,3	32,2	0
24	0	0	0,3	12,5	0	0	0	0	0	0,2	0	0
25	0	0	0,4	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0
26	0	0	0	6	0	0	0,1	0	0	0	42,9	49,3
27	0	19	5,3	0,4	0	1,1	0	0	0,2	0	57,3	10,6
28	0	60,6	0	0	0	0	0	0	0	4,7	79,6	27,1
29	0		0	0,6	0	0	0	0	0	0	5	5,4
30	0		15,8	0	0	0	0	0	0	0	2,3	4,1
31	0			0		0		2,5		4,3		0,7
<b>Total (mm)</b>	<b>341,9</b>	<b>117,4</b>	<b>247,9</b>	<b>74,6</b>	<b>11,7</b>	<b>18,3</b>	<b>5,8</b>	<b>13</b>	<b>1,6</b>	<b>99,1</b>	<b>274,5</b>	<b>256,7</b>
<b>Média (mm)</b>	<b>11,03</b>	<b>4,193</b>	<b>7,997</b>	<b>2,487</b>	<b>0,377</b>	<b>0,61</b>	<b>0,187</b>	<b>0,419</b>	<b>0,053</b>	<b>3,197</b>	<b>9,15</b>	<b>8,28</b>
<b>Dias de chuva</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>22</b>

Nota: Sinal convencional utilizado:

\* Início do monitoramento: julho/2011

<b>Dia de campanha (seca)</b>	<b>Dia de campanha (cheia)</b>
-------------------------------	--------------------------------

(continuação)

Dados de precipitação ano de 2012 (mm chuva)												
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	53,9	0,2	0	0	14,9	0	0	1,8	0	0	6,5	0
2	21,2	0	0	0	0	0,2	0,1	0,2	0	0	0,3	0
3	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	4,2
4	34,8	0	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	8,6	0,1
5	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,7	0
6	6,4	0	0	0	4,1	13,3	0	0	0	0	0	0
7	19,5	0	0	0,1	5,9	1,9	0	0	0	0	0	42,8
8	27,6	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	10,1
9	52,75	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	12,7	14,9
10	23,7	0	0	0	0,1	0,3	0	0	0	7,9	18,5	0
11	2,1	8,3	6,5	0	0	7,5	0	0	0	18,9	0,8	0
12	0	17	13,8	0	0	0,2	0	0	0	4,4	0	10,9
13	0	28,3	8,6	0	0	0	0	0	0	0	10,6	0,3
14	0	0	16,3	0	25	0	0	2,9	0	0,2	1,3	16,8
15	0	0	4,7	13,9	13,4	0	0	2,9	0	0	5,8	16
16	0,7	0	7,4	2	0,4	0	0	3	0	0	1,3	14,1
17	0	0,8	0	0,1	0	0	0,5	1,2	0,1	0	0,1	0,4
18	0	0	0,1	0	0	0	0,7	1,4	0	11,6	0	0
19	0	0	0,5	0,1	1,7	0	0,1	1,7	0	0	0	1,2
20	0	0	0,2	0	0,3	0	0	0	0,6	0,1	37,2	0
21	0	0	0	1,5	0	0,9	0	0	10	0	0	0
22	0	2,1	0	0	0	3,6	0	0	2	0,3	0	6,4
23	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,1
24	0	0	3,4	0	0	0	0	0,3	0,7	0	2,1	0
25	0	0	0	0	4,1	0	0	0	1	0	12,9	0
26	0	0	0	6	6,1	0	0	0	19,8	0	4,7	0
27	38,1	0	0	1,1	0	0	0	0	6,9	0	43	0
28	78,6	0	31,7	0	0,1	0	0	1,9	0	0	13,2	0
29	66	0	21,9	5,6	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
30	0,6		0,1	30	0,1	0	0	0	0	0,2	0,1	0
31	10,3		0		0		0	0		0		8,8
<b>Total mensal (mm)</b>	<b>439,35</b>	<b>56,8</b>	<b>115,2</b>	<b>60,5</b>	<b>88,25</b>	<b>28,0</b>	<b>1,5</b>	<b>17,4</b>	<b>41,2</b>	<b>43,7</b>	<b>197,0</b>	<b>147,2</b>
<b>Média (mm)</b>	<b>14,17</b>	<b>1,96</b>	<b>3,72</b>	<b>2,01</b>	<b>2,85</b>	<b>0,93</b>	<b>0,05</b>	<b>0,56</b>	<b>1,37</b>	<b>1,41</b>	<b>6,56</b>	<b>4,75</b>
<b>Dias de chuva</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>21</b>	<b>16</b>

<b>Dia de campanha (seca)</b>	<b>Dia de campanha (cheia)</b>
-------------------------------	--------------------------------

(conclusão)

Dados de precipitação ano de 2013 (mm chuva)												
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0	2,6	28	0	0	0	8	0	0	1,3	1	87,6
2	0	0	10,4	0	0	0	6	0	0	16,55	0	24,86
3	34,8	2,3	1	19,3	0	16	0	0	0	0,1	0	0
4	3,9	11,3	0	1,7	0	0,9	0	0	29,7	6,1	0	0
5	0	39,9	7,3	5,3	0	0	0	0	5,25	0,1	0	35,63
6	0	13,7	0,5	0	0	0	0	0	0	0	12,8	0,1
7	4,8	0,1	0,4	5	0	0	0	0,1	0	0	24,5	0
8	1,8	0	0	9,9	0	0	0	0	0	1	1,4	1,5
9	0	0	4,7	2,3	0	0	19,8	0	0	0,1	0	0
10	24,2	0	20	0,5	0	0	1,2	0	0	0	0	40
11	64,7	0	25	0,2	0	0,1	0	0	0	0	0	44,3
12	1,1	0	0,3	0,4	0	0	0	0,1	0	0	0	2,3
13	0,3	0	0,3	8,9	0	0	0	0	0	0	0	1,4
14	10,6	0	0	0,2	0	0	0	0,5	0	0	0	1,5
15	6,4	0	0,3	0	0	0	0,3	1	0	1,5	0	4
16	12,4	0	0	0	0	0	0	0	0	7,1	0	1,8
17	3,9	0	3,1	0	2,1	0	0	0	0,5	1,7	10	3,6
18	8,8	0	3,1	0	0	0	0,2	0,5	0	-	6	11,2
19	56,2	0	3,1	0	0,6	0	0	2,6	0,3	-	0	0
20	0,2	0	0	0	0	0	3,3	0,3	0	-	0	0
21	0,1	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	27
22	18,1	0	27,5	0	2,6	0	0	0	0	4,1	10,7	34,3
23	0	0	2,8	0	0,4	0,7	0	0	1,5	0	13,6	65
24	5,8	0	0,1	0	8,6	0,7	0,1	0	43,2	0	23,78	6,9
25	0	0	27,3	0	2,5	0,2	7,9	0	0	0	26,9	40,1
26	0,8	4,1	26	0	0	0	0	0	0	0	20,47	0,5
27	14,1	12,9	42,1	0	3,9	0	0	0	0	0	5,5	41,4
28	2,3	0,6	0	0	7,2	0	0	0	0	0	2	4,6
29	12,3		0	0	4,5	0	0	0	7,9	0	0	0
30	50,7		5,5	0	0	0	0,1	0	0	0,3	25,8	0,4
31	26,9		0	0	0		0,1	0		3,8		6,1
<b>Total mensal (mm)</b>	<b>365,2</b>	<b>87,5</b>	<b>239,2</b>	<b>53,7</b>	<b>32,4</b>	<b>18,6</b>	<b>47,0</b>	<b>5,1</b>	<b>88,35</b>	<b>43,75</b>	<b>184,45</b>	<b>486,09</b>
<b>Média (mm)</b>	<b>11,78</b>	<b>3,12</b>	<b>7,72</b>	<b>1,79</b>	<b>1,05</b>	<b>0,62</b>	<b>1,52</b>	<b>0,32</b>	<b>2,95</b>	<b>1,56</b>	<b>6,15</b>	<b>15,68</b>
<b>Dias de chuva</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>24</b>

Fonte: Adaptação dos dados fornecidos pela CESAMA.

<b>Dia de campanha (seca)</b>	<b>Dia de campanha (cheia)</b>
-------------------------------	--------------------------------

**APÊNDICE B** - Resultados e estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido

Temperatura do ar (°C)						Temperatura da água (°C)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	15,00	15,00	16,00	16,00	16,00	27/07/11	18,00	18,00	19,00	19,00	19,00
25/08/11	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	25/08/11	21,00	21,00	21,00	21,00	22,00
27/10/11	22,00	22,00	23,00	23,00	23,00	27/10/11	24,00	24,00	24,00	25,00	25,00
28/03/12	24,50	25,00	24,50	25,00	25,00	28/03/12	25,00	25,00	25,00	25,00	26,00
18/07/12	18,50	18,50	17,50	17,50	17,50	18/07/12	19,00	19,00	19,00	19,50	20,00
16/08/12	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	16/08/12	19,50	19,50	20,00	20,00	21,00
21/11/12	24,00	23,50	23,00	22,50	21,50	21/11/12	25,00	25,00	24,00	24,00	23,00
14/03/13	26,00	26,50	27,00	27,00	27,50	14/03/13	28,00	28,00	29,00	29,00	30,00
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	21,19	21,25	21,31	21,31	21,25	Méd.	22,44	22,44	22,63	22,81	23,25
DP	3,63	3,75	3,70	3,74	3,83	DP	3,56	3,56	3,50	3,50	3,62
Máx.	26,00	26,50	27,00	27,00	27,50	Máx.	28,00	28,00	29,00	29,00	30,00
Mín.	15,00	15,00	16,00	16,00	16,00	Mín.	18,00	18,00	19,00	19,00	19,00

Oxigênio dissolvido (mg/L)						Condutividade (µs/cm)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	5,00*	5,00*	4,30*	4,30*	4,40*	27/07/11	15,00	17,00	15,00	15,00	16,00
25/08/11	5,60*	5,20*	5,80*	5,40*	5,60*	25/08/11	14,00	15,00	15,00	16,00	14,00
27/10/11	4,00*	3,80*	3,40*	3,40*	3,50*	27/10/11	10,00	13,00	12,00	15,00	16,00
28/03/12	3,40*	4,00*	4,20*	4,20*	4,10*	28/03/12	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00
18/07/12	5,10*	5,90*	5,20*	5,10*	4,90*	18/07/12	22,00	18,00	18,00	20,00	18,00
16/08/12	4,40*	4,80*	5,20*	5,40*	5,50*	16/08/12	21,00	18,00	18,00	21,00	21,00
21/11/12	5,10*	5,60*	5,90*	6,00	6,10	21/11/12	17,00	17,00	16,00	18,00	17,00
14/03/13	4,60*	3,90*	4,20*	4,00*	4,30*	14/03/13	12,00	12,00	10,00	13,00	11,00
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	4,65	4,78	4,78	4,73	4,80	Méd.	14,50	14,38	13,50	15,25	14,63
DP	0,71	0,80	0,88	0,88	0,88	DP	5,63	4,41	4,72	5,28	5,18
Máx.	5,60	5,90	5,90	6,00	6,10	Máx.	22,00	18,00	18,00	21,00	21,00
Mín.	3,40	3,80	3,40	3,40	3,50	Mín.	5,00	5,00	4,00	4,00	4,00

pH						Cor (mg Pt/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	6,50	5,90*	6,68	6,70	6,75	27/07/11	51,0	59,0	51,0	52,0	45,0
25/08/11	6,49	6,30	6,80	7,04	6,78	25/08/11	61,0	69,0	53,0	61,0	48,0
27/10/11	7,34	7,67	7,99	8,16	8,35	27/10/11	98,0	134,0	84,0	60,0	45,0
28/03/12	6,57	6,30	6,78	6,32	6,34	28/03/12	126,0	129,0	119,0	112,0	151,0
18/07/12	7,33	7,25	7,29	7,24	7,31	18/07/12	5,0	27,0	25,0	20,0	30,0
16/08/12	7,40	7,50	7,30	7,30	7,20	16/08/12	64,0	66,0	59,0	61,0	43,0
21/11/12	7,30	7,40	7,40	7,10	7,10	21/11/12	5,0	27,0	25,0	20,0	30,0
14/03/13	7,00	7,10	7,00	7,00	7,20	14/03/13	5,0	20,0	18,0	16,0	23,0
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	6,99	6,93	7,16	7,11	7,13	Méd.	51,88	66,38	54,25	50,25	51,88
DP	0,41	0,66	0,43	0,53	0,59	DP	45,43	44,41	34,10	31,95	41,07
Máx.	7,40	7,67	7,99	8,16	8,35	Máx.	126,0	134,0	119,0	112,0	151,0
Mín.	6,49	5,90	6,68	6,32	6,34	Mín.	5,00	20,00	18,00	16,00	23,00

Turbidez (UNT)						DBO (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	3,15	2,71	3,04	2,85	2,59	27/07/11	-	-	-	-	-
25/08/11	3,49	2,59	3,33	2,98	3,12	25/08/11	6,00*	12,00*	6,00*	6,00*	6,00*
27/10/11	5,12	6,51	7,73	5,70	4,29	27/10/11	14,00*	14,00*	15,00*	14,00*	14,00*
28/03/12	3,90	3,77	3,43	3,49	3,81	28/03/12	16,00*	15,00*	8,00*	8,00*	9,00*
18/07/12	0,32	0,11	0,13	0,10	0,87	18/07/12	16,00*	28,00*	16,00*	12,00*	14,00*
16/08/12	1,71	1,60	1,34	1,40	0,62	16/08/12	13,50*	16,50*	17,50*	15,50*	13,50*
21/11/12	1,32	1,11	1,13	1,10	0,87	21/11/12	13,00*	22,00*	13,00*	10,00*	13,00*
14/03/13	1,24	1,10	1,10	1,10	0,54	14/03/13	10,00*	16,00*	12,00*	10,00*	11,00*
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	2,53	2,44	2,65	2,34	2,09	Méd.	12,64	17,64	12,50	10,79	11,50
DP	1,63	2,00	2,38	1,78	1,54	DP	3,57	5,51	4,21	3,31	3,04
Máx.	5,12	6,51	7,73	5,70	4,29	Máx.	16,00	28,00	17,50	15,50	14,00
Mín.	0,32	0,11	0,13	0,10	0,54	Mín.	6,00	12,00	6,00	6,00	6,00

Sólidos totais (mg/L)						Nitrato (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	56,00	46,00	34,00	19,00	36,00	27/07/11	0,76	0,41	0,42	0,46	0,46
25/08/11	45,00	38,00	28,00	24,00	33,00	25/08/11	0,38	0,42	0,34	0,37	0,35
27/10/11	65,00	54,00	45,00	35,00	33,00	27/10/11	0,47	0,73	0,47	0,37	0,34
28/03/12	142,00	123,00	27,00	6,00	29,00	28/03/12	0,59	0,68	0,62	0,63	0,64
18/07/12	30,00	88,00	34,00	44,00	100,00	18/07/12	0,37	0,27	0,33	0,32	0,33
16/08/12	58,00	114,00	50,00	54,00	92,00	16/08/12	0,42	0,47	0,45	0,47	0,49
21/11/12	25,00	77,00	30,00	42,00	98,00	21/11/12	0,50	0,53	0,36	0,37	0,34
14/03/13	22,00	60,00	25,00	37,00	72,00	14/03/13	0,76	0,87	0,89	0,89	0,82
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	55,38	75,00	34,13	32,63	61,63	Méd.	0,533	0,548	0,486	0,484	0,469
DP	38,53	31,34	8,94	15,44	32,04	DP	0,157	0,198	0,189	0,189	0,176
Máx.	142,00	123,00	50,00	54,00	100,00	Máx.	0,763	0,874	0,891	0,887	0,816
Mín.	22,00	38,00	25,00	6,00	29,00	Mín.	0,373	0,270	0,326	0,321	0,331

Nitrito (µg/L)						Amônio (µg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	1,12	1,13	1,27	1,19	1,34	27/07/11	138,7	97,59	112,2	116,97	73,26
25/08/11	1,66	1,37	2,87	1,55	1,83	25/08/11	33,39	25,30	25,26	25,29	24,67
27/10/11	2,13	2,10	2,00	1,59	1,29	27/10/11	22,94	37,57	21,72	24,00	18,39
28/03/12	3,06	3,25	3,52	3,55	3,50	28/03/12	18,07	29,45	25,14	23,82	23,00
18/07/12	1,67	1,21	1,05	0,87	1,00	18/07/12	64,37	31,35	34,76	112,73	31,94
16/08/12	1,55	1,55	1,71	1,81	4,37	16/08/12	17,86	9,56	21,46	17,46	10,41
21/11/12	1,60	2,46	1,79	1,71	1,44	21/11/12	147,5	164,9	132,2	114,88	95,23
14/03/13	13,27	11,37	12,40	13,62	14,01	14/03/13	201,4	179,6	162,9	178,98	183,3
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	3,26	3,05	3,33	3,24	3,60	Méd.	80,56	71,93	66,97	76,77	57,54
DP	4,09	3,44	3,76	4,27	4,37	DP	71,86	67,20	58,76	61,60	58,78
Máx.	13,27	11,37	12,40	13,62	14,01	Máx.	201,47	179,67	162,93	178,98	183,3
Mín.	1,12	1,13	1,05	0,87	1,00	Mín.	17,86	9,56	21,46	17,46	10,41

Nitrogênio total (mg/L)						Fósforo total (µg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	1,68	1,58	1,32	0,99	1,13	27/07/11	24,80*	27,92*	19,93	20,57	21,68
25/08/11	2,67	4,55	4,38	1,69	1,34	25/08/11	19,35	15,04	15,93	33,43*	18,32
27/10/11	0,68	0,14	0,70	0,77	0,73	27/10/11	16,70	22,86	15,16	21,17	9,92
28/03/12	0,93	1,03	1,06	1,06	1,50	28/03/12	18,39	26,45*	26,29*	23,75	20,14
18/07/12	0,88	0,75	0,72	0,74	0,77	18/07/12	29,01*	23,00	24,70	22,95	19,30
16/08/12	0,71	0,83	0,74	0,77	0,73	16/08/12	18,56	16,57	25,43*	17,92	19,89
21/11/12	2,46	1,80	2,03	2,74	2,60	21/11/12	37,87*	47,34*	37,04*	35,22*	39,26*
14/03/13	1,67	1,73	1,82	1,76	1,76	14/03/13	72,50*	55,69*	56,20*	49,00*	71,30*
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	1,46	1,55	1,60	1,32	1,32	Méd.	29,65	29,36	27,59	28,00	27,48
DP	0,79	1,34	1,23	0,70	0,64	DP	18,71	14,53	13,48	10,49	19,51
Máx.	2,67	4,55	4,38	2,74	2,60	Máx.	72,50	55,69	56,20	49,00	71,30
Mín.	0,68	0,14	0,70	0,74	0,73	Mín.	16,70	15,04	15,16	17,92	9,92

Fósforo total (mg/L)						Clorofila <i>a</i> (µg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,025*	0,028*	0,020	0,021	0,022	27/07/11	2,90	3,00	2,45	2,75	3,35
25/08/11	0,019	0,015	0,016	0,033*	0,018	25/08/11	2,90	3,65	4,00	4,15	5,50
27/10/11	0,017	0,023	0,015	0,021	0,010	27/10/11	3,00	3,20	3,40	3,00	4,20
28/03/12	0,018	0,026*	0,026*	0,024	0,020	28/03/12	5,15	4,40	3,65	3,90	4,75
18/07/12	0,029*	0,023	0,025	0,023	0,019	18/07/12	3,20	3,00	2,80	2,00	1,90
16/08/12	0,019	0,017	0,025	0,018	0,020	16/08/12	3,80	2,70	3,00	2,20	2,20
21/11/12	0,038*	0,047*	0,037*	0,035*	0,039*	21/11/12	4,00	4,40	3,60	3,20	2,80
14/03/13	0,073*	0,056*	0,056*	0,049*	0,071*	14/03/13	4,20	6,60	7,90	7,00	2,90
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	Méd.	3,64	3,87	3,85	3,53	3,45
DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	DP	0,80	1,28	1,71	1,59	1,26
Máx.	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07	Máx.	5,15	6,60	7,90	7,00	5,50
Mín.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	Mín.	2,90	2,70	2,45	2,00	1,90

Coliformes totais (NMP/100 mL)						Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	33	900	220	220	220	27/07/11	17	900*	130	130	22
25/08/11	30	30	30	23	4	25/08/11	4	13	4	23	0
27/10/11	12	30	23	13	2	27/10/11	9	30	8	13	2
28/03/12	110	900	170	220	280	28/03/12	110	900*	170	220*	280*
18/07/12	23	8	13	33	30	18/07/12	2	8	8	27	8
16/08/12	110	23	23	13	8	16/08/12	23	8	< 2	< 2	< 2
21/11/12	1600	1600	23	23	17	21/11/12	900*	350*	23	13	11
14/03/13	240	300	34	350	500	14/03/13	50	17	17	50	23
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	269,8	473,9	67,0	111,9	132,6	Méd.	139,4	278,3	51,4	68,0	49,4
DP	542,8	594,7	80,4	131,8	184,1	DP	309,4	400,8	68,6	78,6	102,1
Máx.	1600	1600	220	350	500	Máx.	900	900	170	220	280
Mín.	12	8	13	13	2	Mín.	2	8	4	13	0

Fonte: o autor

Nota: Sinal convencional utilizado:

\*Valores em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), para águas doces “classe 1”.

**APÊNDICE C - Resultados e estatística descritiva de metais para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido**

<b>Cádmio total (mg/L)</b>						<b>Cádmio dissolvido (mg/L)</b>					
<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Estatística descritiva</b>						<b>Estatística descritiva</b>					
Méd.	*	*	*	*	*	Méd.	*	*	*	*	*
DP	*	*	*	*	*	DP	*	*	*	*	*
Máx.	*	*	*	*	*	Máx.	*	*	*	*	*
Mín.	*	*	*	*	*	Mín.	*	*	*	*	*

<b>Cobre total (mg/L)</b>						<b>Cobre dissolvido (mg/L)</b>					
<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0016	27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
18/07/12	<0,001	0,0375	<0,001	<0,001	<0,001	18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16/08/12	<0,001	0,0051	0,0041	0,0036	<0,001	16/08/12	<0,001	0,0014	0,0014	<0,001	<0,001
21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Estatística descritiva</b>						<b>Estatística descritiva</b>					
Méd.	*	*	*	*	*	Méd.	*	*	*	*	*
DP	*	*	*	*	*	DP	*	*	*	*	*
Máx.	*	0,0375	0,0041	0,0036	0,0016	Máx.	*	0,0014	0,0014	*	*
Mín.	*	*	*	*	*	Mín.	*	*	*	*	*

<b>Cromo total (mg/L)</b>						<b>Cromo dissolvido (mg/L)</b>					
<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>Data</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Estatística descritiva</b>						<b>Estatística descritiva</b>					
Méd.	*	*	*	*	*	Méd.	*	*	*	*	*
DP	*	*	*	*	*	DP	*	*	*	*	*
Máx.	*	*	*	*	*	Máx.	*	*	*	*	*
Mín.	*	*	*	*	*	Mín.	*	*	*	*	*

Ferro total (mg/L)						Ferro dissolvido (mg/L)					
Data		P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,6964	0,6863	0,5675	0,4560	0,5080	27/07/11	0,5531*	0,2867	0,2606	0,2369	0,4512*
25/08/11	0,3497	0,4136	0,2464	0,2642	0,3389	25/08/11	0,2860	0,2530	0,2130	0,2530	0,2889
27/10/11	0,7556	1,4600	0,4914	0,3189	0,3092	27/10/11	0,4741*	1,1000*	0,0729	0,0934	0,0358
28/03/12	1,7900	1,6000	0,4219	0,3456	0,1967	28/03/12	0,6293*	0,1983	0,2860	0,2860	0,1530
18/07/12	0,7896	0,2960	0,7301	0,6829	0,7098	18/07/12	0,2557	0,2403	0,1059	0,2073	0,2422
16/08/12	0,8991	0,8899	0,6702	0,7652	0,6733	16/08/12	0,1153	0,3721*	0,1305	0,0920	0,0841
21/11/12	1,8200	2,2700	0,6668	0,6398	0,5074	21/11/12	0,6174*	0,5716*	0,2507	0,2202	0,2375
14/03/13	1,3600	0,9897	1,2700	1,3200	1,2800	14/03/13	0,4004*	0,2284	0,2279	0,4162*	0,3351*
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	1,0576	1,0757	0,6330	0,5991	0,5654	Méd.	0,4164	0,4063	0,1934	0,2256	0,2285
DP	0,5384	0,6643	0,3014	0,3446	0,3386	DP	0,1857	0,3047	0,0794	0,1046	0,1355
Máx.	1,8200	2,2700	1,2700	1,3200	1,2800	Máx.	0,6293	1,1000	0,2860	0,4162	0,4512
Mín.	0,3497	0,2960	0,2464	0,2642	0,1967	Mín.	0,1153	0,1983	0,0729	0,0920	0,0358

Manganês total (mg/L)						Manganês dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,0137	0,0096	0,0092	0,0099	0,0067	27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
25/08/11	0,0093	0,0099	0,0076	0,0081	0,0092	25/08/11	0,0083	0,0081	0,0074	0,0060	0,0074
27/10/11	0,0283	0,0323	0,0181	0,0169	0,0206	27/10/11	0,0224	0,0277	0,0120	0,0103	0,0062
28/03/12	0,0174	0,0123	0,0150	0,0024	0,0023	28/03/12	0,0029	0,0020	0,0140	<0,0001	<0,0001
18/07/12	0,0147	0,0242	0,0136	0,0157	0,0194	18/07/12	0,0111	0,0113	0,0056	0,0033	<0,001
16/08/12	0,0166	0,0125	0,0155	0,0171	0,0105	16/08/12	0,0025	0,0032	<0,001	<0,001	<0,001
21/11/12	0,0466	0,0388	0,0219	0,0229	0,0165	21/11/12	0,0298	0,0160	0,0019	<0,001	<0,001
14/03/13	0,0255	0,0208	0,0238	0,0277	0,0280	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	0,0215	0,0201	0,0156	0,0151	0,0142	Méd.	0,0128	0,0114	0,0082	0,0065	0,0068
DP	0,0119	0,0110	0,0056	0,0081	0,0085	DP	0,0110	0,0095	0,0049	0,0035	0,0008
Máx.	0,0466	0,0388	0,0238	0,0277	0,0280	Máx.	0,0298	0,0277	0,0140	0,0103	0,0074
Mín.	0,0093	0,0096	0,0076	0,0024	0,0023	Mín.	0,0025	0,0020	0,0019	0,0033	0,0062

Níquel total (mg/L)						Níquel dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/07/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	25/08/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	27/10/11	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	28/03/12	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	*	*	*	*	*	Méd.	*	*	*	*	*
DP	*	*	*	*	*	DP	*	*	*	*	*
Máx.	*	*	*	*	*	Máx.	*	*	*	*	*
Mín.	*	*	*	*	*	Mín.	*	*	*	*	*

Zinco total (mg/L)						Zinco dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,0316	0,0243	0,0211	0,0042	0,0364	27/07/11	0,0047	0,0083	0,0056	<0,0001	<0,0001
25/08/11	0,0706	<0,0001	0,0548	0,0534	0,0512	25/08/11	0,0237	<0,0001	0,0150	0,0105	0,0170
27/10/11	0,0707	0,0545	0,0444	0,0485	0,0759	27/10/11	0,0397	0,0428	0,0059	0,0087	0,0063
28/03/12	0,0756	0,0602	0,0480	0,0165	0,0146	28/03/12	0,0098	0,0107	0,0387	0,0120	0,0090
18/07/12	0,0458	0,3320*	0,0475	0,0461	0,0614	18/07/12	0,0390	0,0443	0,0390	0,0390	0,0490
16/08/12	0,0437	0,0534	0,0791	<0,001	<0,001	16/08/12	0,0280	0,0534	0,0545	<0,001	<0,001
21/11/12	0,0207	0,0131	<0,001	0,0010	<0,001	21/11/12	0,0059	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	0,0512	0,0896	0,0492	0,0283	0,0479	Méd.	0,0215	0,0319	0,0265	0,0176	0,0203
DP	0,0214	0,1202	0,0187	0,0237	0,0235	DP	0,0150	0,0209	0,0204	0,0144	0,0196
Máx.	0,0756	0,3320	0,0791	0,0534	0,0759	Máx.	0,0397	0,0534	0,0545	0,0390	0,0490
Mín.	0,0207	0,0131	0,0211	0,0010	0,0146	Mín.	0,0047	0,0083	0,0056	0,0087	0,0063

Chumbo total (mg/L)						Chumbo dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	27/07/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
25/08/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	25/08/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
27/10/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	27/10/11	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
28/03/12	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	28/03/12	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	18/07/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	16/08/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	21/11/12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14/03/13	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	*	*	*	*	*	Méd.	*	*	*	*	*
DP	*	*	*	*	*	DP	*	*	*	*	*
Máx.	*	*	*	*	*	Máx.	*	*	*	*	*
Mín.	*	*	*	*	*	Mín.	*	*	*	*	*

Sódio total (mg/L)						Sódio dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,9435	1,4600	0,9292	0,8304	0,8913	27/07/11	0,8970	0,8897	0,8950	0,8130	0,8130
25/08/11	1,0700	1,0500	1,1800	1,0400	1,0200	25/08/11	0,9970	0,5130	0,9970	0,9970	0,9960
27/10/11	1,3800	1,7700	0,8528	0,7988	1,3000	27/10/11	1,3000	1,7000	0,7825	0,7660	1,1000
28/03/12	1,1200	1,0700	2,2800	1,8000	3,1300	28/03/12	0,7715	0,9970	0,7700	0,8689	1,6000
18/07/12	1,0000	28,6000	1,0700	0,9525	0,9917	18/07/12	0,7432	0,7492	0,7772	0,7427	0,7428
16/08/12	1,0600	1,2200	1,2300	1,0700	1,2100	16/08/12	0,6840	0,9880	0,9167	0,9550	0,8798
21/11/12	1,0900	1,3100	0,5307	1,1000	0,8104	21/11/12	0,8126	0,9250	0,4970	0,6488	0,7303
14/03/13	0,9900	1,2000	0,8881	0,8878	0,8987	14/03/13	0,8659	1,1000	0,7918	0,8554	0,7833
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	1,0817	4,7100	1,1201	1,0599	1,2815	Méd.	0,8839	0,9827	0,8034	0,8309	0,9557
DP	0,1338	9,6558	0,5172	0,3189	0,7649	DP	0,1942	0,3413	0,1488	0,1137	0,2902
Máx.	1,3800	28,6000	2,2800	1,8000	3,1300	Máx.	1,3000	1,7000	0,9970	0,9970	1,6000
Mín.	0,9435	1,0500	0,5307	0,7988	0,8104	Mín.	0,6840	0,5130	0,4970	0,6488	0,7303

Potássio total (mg/L)						Potássio dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	0,4052	0,5597	0,3915	0,4770	0,4426	27/07/11	0,3990	0,3991	0,3860	0,4130	0,4130
25/08/11	0,7316	0,6738	0,7422	0,7520	0,7558	25/08/11	0,7130	0,6363	0,7030	0,7130	0,7130
27/10/11	0,8979	1,2400	0,4642	0,3836	0,4496	27/10/11	0,7607	1,1000	0,4560	0,3030	0,3372
28/03/12	0,7203	0,6011	0,7444	0,7037	1,0200	28/03/12	0,4902	0,5970	0,4651	0,5281	0,7371
18/07/12	0,5551	1,1500	0,6309	0,5472	0,5761	18/07/12	0,4230	0,4006	0,4502	0,4402	0,4519
16/08/12	0,5501	0,5723	0,6592	0,5878	0,5735	16/08/12	0,4625	0,4594	0,5172	0,5052	0,4901
21/11/12	0,6597	0,8672	0,5165	0,5833	0,4993	21/11/12	0,5026	0,7270	0,4542	0,4401	0,4649
14/03/13	0,6934	0,6639	0,6504	0,6828	0,6747	14/03/13	0,6220	0,6240	0,6248	0,6021	0,6135
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	0,6517	0,7910	0,5999	0,5897	0,6240	Méd.	0,5466	0,6179	0,5071	0,4931	0,5276
DP	0,1483	0,2682	0,1293	0,1225	0,1929	DP	0,1355	0,2285	0,1052	0,1252	0,1445
Máx.	0,8979	1,2400	0,7444	0,7520	1,0200	Máx.	0,7607	1,1000	0,7030	0,7130	0,7371
Mín.	0,4052	0,5597	0,3915	0,3836	0,4426	Mín.	0,3990	0,3991	0,3860	0,3030	0,3372

Cálcio total (mg/L)						Cálcio dissolvido (mg/L)					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	1,1900	0,8450	1,0600	0,7952	1,2700	27/07/11	1,1000	0,6963	0,6841	0,7860	1,1000
25/08/11	1,5600	1,3500	1,4000	1,3500	1,3600	25/08/11	1,4000	0,1254	1,4000	1,2000	1,3000
27/10/11	1,9200	2,0600	1,8400	1,6900	2,2400	27/10/11	1,8000	1,7000	1,3000	1,3000	1,3000
28/03/12	1,8500	1,6700	1,7800	1,9400	1,9000	28/03/12	1,6000	1,5000	1,6000	1,8000	1,8000
18/07/12	1,2900	7,8600	1,3400	1,3700	1,3300	18/07/12	1,2000	1,2000	1,2000	1,3000	1,3000
16/08/12	1,2500	1,4100	2,2400	1,3100	1,4500	16/08/12	1,2000	1,3000	1,2000	1,3000	1,3000
21/11/12	1,9700	1,5600	1,4700	1,5600	1,2800	21/11/12	1,5000	1,4000	1,3000	1,3000	0,9550
14/03/13	1,5600	1,5800	1,5000	1,5500	1,5600	14/03/13	1,5000	1,5000	1,4000	1,4000	1,5000
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	1,574	2,292	1,579	1,446	1,549	Méd.	1,413	1,178	1,261	1,298	1,319
DP	0,313	2,275	0,363	0,335	0,347	DP	0,236	0,519	0,266	0,276	0,252
Máx.	1,970	7,860	2,240	1,940	2,240	Máx.	1,800	1,700	1,600	1,800	1,800
Mín.	1,190	0,845	1,060	0,795	1,270	Mín.	1,100	0,125	0,684	0,786	0,955

Fonte: o autor

Nota: Sinal convencional utilizado:

\*Valores em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), para águas doces “classe 1”.

**APÊNDICE D** - Resultados e estatística descritiva do Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido

IQA						IET					
Data	P1	P2	P3	P4	P5	Data	P1	P2	P3	P4	P5
27/07/11	79,60	62,40	75,20	75,10	81,80	27/07/11	52,9348	53,3769	51,8589	52,2379	52,8812
25/08/11	80,00	70,10	82,20	77,60	82,90	25/08/11	52,1829	51,9837	52,3824	54,7184	53,587
27/10/11	72,00	68,00	70,20	69,80	73,80	27/10/11	51,8199	52,9294	51,8337	52,5385	51,0671
28/03/12	61,60	54,70	68,60	65,00	63,70	28/03/12	53,4373	54,1524	53,6757	53,5303	53,5144
18/07/12	74,30	62,70	71,50	72,40	73,30	18/07/12	53,6510	52,7894	52,8368	51,7886	51,1385
16/08/12	71,00	70,50	72,60	74,70	76,50	16/08/12	52,7192	51,5374	53,0936	51,2728	51,5889
21/11/12	59,80	56,20	71,00	75,50	72,80	21/11/12	55,0061	55,9158	54,6808	54,2389	54,2407
14/03/13	69,50	67,40	70,70	70,20	70,90	14/03/13	57,0932	57,4026	57,8711	57,1591	56,1344
Estatística descritiva						Estatística descritiva					
Méd.	70,98	64,00	72,75	72,54	74,46	Méd.	53,61	53,76	53,53	53,44	53,02
DP	7,40	6,08	4,27	4,06	6,12	DP	1,72	2,00	1,99	1,92	1,74
Máx.	80,00	70,50	82,20	77,60	82,90	Máx.	57,09	57,40	57,87	57,16	56,13
Mín.	59,80	54,70	68,60	65,00	63,70	Mín.	51,82	51,54	51,83	51,27	51,07

Fonte: o autor

**APÊNDICE E** - Classificação do Índice de Qualidade da Água (IQA) para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido

Ponto de amostragem	Resultados e classificação do IQA para os pontos amostrais da Represa Dr. João Penido nas estações seca e chuvosa (2011-2013).					
	Data coleta	Valor do IQA	Classificação	Data coleta	Valor do IQA	Classificação
	Estação seca			Estação chuvosa		
P1	27/07/2011	79,6	Bom	27/10/2011	72,0	Bom
	25/08/2011	80,0	Bom	28/03/2012	61,6	Médio
	18/07/2012	74,3	Bom	21/11/2012	59,8	Médio
	16/08/2012	71,0	Bom	14/03/2013	69,5	Médio
P2	27/07/2011	62,4	Médio	27/10/2011	68,0	Médio
	25/08/2011	70,1	Bom	28/03/2012	54,7	Médio
	18/07/2012	62,7	Médio	21/11/2012	56,2	Médio
	16/08/2012	70,5	Bom	14/03/2013	67,4	Médio
P3	27/07/2011	75,2	Bom	27/10/2011	70,2	Bom
	25/08/2011	82,2	Bom	28/03/2012	68,6	Médio
	18/07/2012	71,5	Bom	21/11/2012	71,0	Bom
	16/08/2012	72,6	Bom	14/03/2013	70,7	Bom
P4	27/07/2011	75,1	Bom	27/10/2011	69,8	Médio
	25/08/2011	77,6	Bom	28/03/2012	65,0	Médio
	18/07/2012	72,4	Bom	21/11/2012	75,5	Bom
	16/08/2012	74,7	Bom	14/03/2013	70,2	Bom
P5	27/07/2011	81,8	Bom	27/10/2011	73,8	Bom
	25/08/2011	82,9	Bom	28/03/2012	63,7	Médio
	18/07/2012	73,3	Bom	21/11/2012	72,8	Bom
	16/08/2012	76,5	Bom	14/03/2013	70,9	Bom

Fonte: o autor

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$

Fonte: IGAM (2013).

**APÊNDICE F** - Classificação do Índice de Estado Trófico (IET) para cada campanha realizada nos pontos amostrais da Represa Dr. João Penido

Ponto de amostragem	Resultados e classificação do IET para os pontos amostrais da Represa Dr. João Penido nas estações seca e chuvosa (2011-2013)					
	Data coleta	Valor do IET	Classificação	Data coleta	Valor do IET	Classificação
	Estação seca			Estação chuvosa		
P1	27/07/2011	52,94	Mesotrófico	27/10/2011	51,82	Oligotrófico
	25/08/2011	52,18	Mesotrófico	28/03/2012	53,44	Mesotrófico
	18/07/2012	53,65	Mesotrófico	21/11/2012	55,01	Mesotrófico
	16/08/2012	52,72	Mesotrófico	14/03/2013	57,09	Mesotrófico
P2	27/07/2011	53,38	Mesotrófico	27/10/2011	52,93	Mesotrófico
	25/08/2011	51,98	Oligotrófico	28/03/2012	54,15	Mesotrófico
	18/07/2012	52,79	Mesotrófico	21/11/2012	55,92	Mesotrófico
	16/08/2012	51,54	Oligotrófico	14/03/2013	57,40	Mesotrófico
P3	27/07/2011	51,86	Oligotrófico	27/10/2011	51,84	Oligotrófico
	25/08/2011	52,38	Mesotrófico	28/03/2012	53,68	Mesotrófico
	18/07/2012	52,84	Mesotrófico	21/11/2012	54,69	Mesotrófico
	16/08/2012	53,09	Mesotrófico	14/03/2013	57,87	Mesotrófico
P4	27/07/2011	52,24	Mesotrófico	27/10/2011	52,54	Mesotrófico
	25/08/2011	54,72	Mesotrófico	28/03/2012	53,53	Mesotrófico
	18/07/2012	51,79	Oligotrófico	21/11/2012	54,24	Mesotrófico
	16/08/2012	51,28	Oligotrófico	14/03/2013	57,16	Mesotrófico
P5	27/07/2011	52,88	Mesotrófico	27/10/2011	51,07	Oligotrófico
	25/08/2011	53,59	Mesotrófico	28/03/2012	53,51	Mesotrófico
	18/07/2012	51,14	Oligotrófico	21/11/2012	54,25	Mesotrófico
	16/08/2012	51,59	Oligotrófico	14/03/2013	56,13	Mesotrófico

Fonte: o autor

Classificação do IET	
Estado trófico	Faixa do IET
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

Fonte: CETESB (2013a).

**APÊNDICE G** - Comparação dos resultados de parâmetros físico-químicos nas águas da Represa Dr. João Penido (“classe 1”) e os reservatórios de abastecimento público monitorados em São Paulo (“classe especial”) e a Resolução CONAMA 357/2005 (“classe 1”)

<b>Parâmetro</b>	<b>Represa Dr. João Penido (MG)</b>	<b>Reservatórios paulistas utilizados para comparação (CETESB, 2012; 2013c)</b>	<b>Limite Resolução CONAMA 357/2005</b>
Condutividade (µs/cm)	Variou de 4,0 a 22,0	Variou de 15,7 a 194,0, indicando maior nível de poluição nas águas superficiais	Não possui
Turbidez (UNT)	Variou de 0,10 a 7,73**	Variou de 1,4 a 55,0*	40,0 UNT
Nitrito (mg/L)	Variou de 0,001 a 0,014**	Variou de <0,01 a 0,11**	1,0 mg/L
Nitrato (mg/L)	Variou de 0,270 a 0,891**	Variou de <0,1 a 1,03**	10,0
Amônio (mg/L)	Variou de 0,009 a 0,201**	Variou de <0,1 a 0,48**	3,7 (pH ≤ 7,5) 2,0 (7,5 < pH ≤ 8,0) 1,0 (8,0 < pH ≤ 8,5) 0,5 (pH > 8,5)
OD (mg/L)	Variou de 3,4 a 6,1*	Variou de 1,7 a 12,0, inclusive com valores superiores ao de saturação de O <sub>2</sub> na água *	>6,0
DBO (mg/L)	Variou de 6,0 a 28,0 todos em desacordo com a Resolução	Variou de <3,0 a 11,0*	<3,0
PT (mg/L)	Variou de 0,001 a 0,073*	Variou de <0,007 a 0,052*	0,02
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Variou de 1,9 a 7,9**	Variou de <0,01 a 110,93*	10,0
Cor (mg Pt/L)	Variou de 5,0 a 151,0	Variou de < 5,0 a 61,0	Nível de cor natural do corpo d'água
pH	Variou de 5,90 a 8,35**	Variou de 5,1 a 9,7*	6,0 a 9,0

**Fonte:** o autor

Nota: Sinal convencional utilizado:

\* apresentando valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

\*\* todos em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Os reservatórios paulistas utilizados para comparação foram: Res. das Graças, Res. Capivari-Monos, Res. do Cabuçu, Res. Tanque Grande, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. do Rio Jundiá UGRHI 06, Res. do Jaguarí UGRHI 02-JAGJ 00200, Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100, Res. Guarapiranga - GUAR 00900, Res. Taiácupeba.

**APÊNDICE H** - Comparação dos resultados de metais nas águas da Represa Dr. João Penido (“classe 1”) e dos reservatórios de abastecimento público monitorados em São Paulo (“classe especial”), que possuem limites definidos na Resolução CONAMA 357/ 2005 (“classe 1”)

<b>Metal</b>	<b>Represa Dr. João Penido (MG)</b>	<b>Reservatórios paulistas utilizados para comparação (CETESB, 2012; 2013c)</b>	<b>Limite Resolução CONAMA 357/2005</b>
Ni, total (mg/L)	Variou de <0,0001 a <0,001**	<0,02**	0,025
Cr total (mg/L)	Variou de <0,0001 a <0,001**	Variou de <0,02 a <0,05**	0,05
Cd total (mg/L)	Variou de <0,0001 a <0,001**	Variou de <0,0005 a 0,0006**	0,001
Pb total (mg/L)	Variou de <0,0005 a <0,001**	Variou de <0,005 a 0,005**	0,01
Cu dissolvido (mg/L)	Variou de <0,0001 a 0,0014**	<0,009**, exceto no Reservatório de Guarapiranga, que variou de 0,01 a 0,04	0,009
Fe dissolvido (mg/L)	Variou de 0,0358 a 1,1000*	Variou de <0,1 a 0,52*	0,3
Mn total (mg/L)	Variou de 0,0023 a 0,0466**	Variou de <0,05 a 0,23*	0,1
Zn total (mg/L)	Variou de <0,001 a 0,3320**, exceto em uma amostra do ponto P2, com resultado de 0,3320	Variou de <0,02 a 0,07**	0,18

**Fonte:** o autor

Nota: Sinal convencional utilizado:

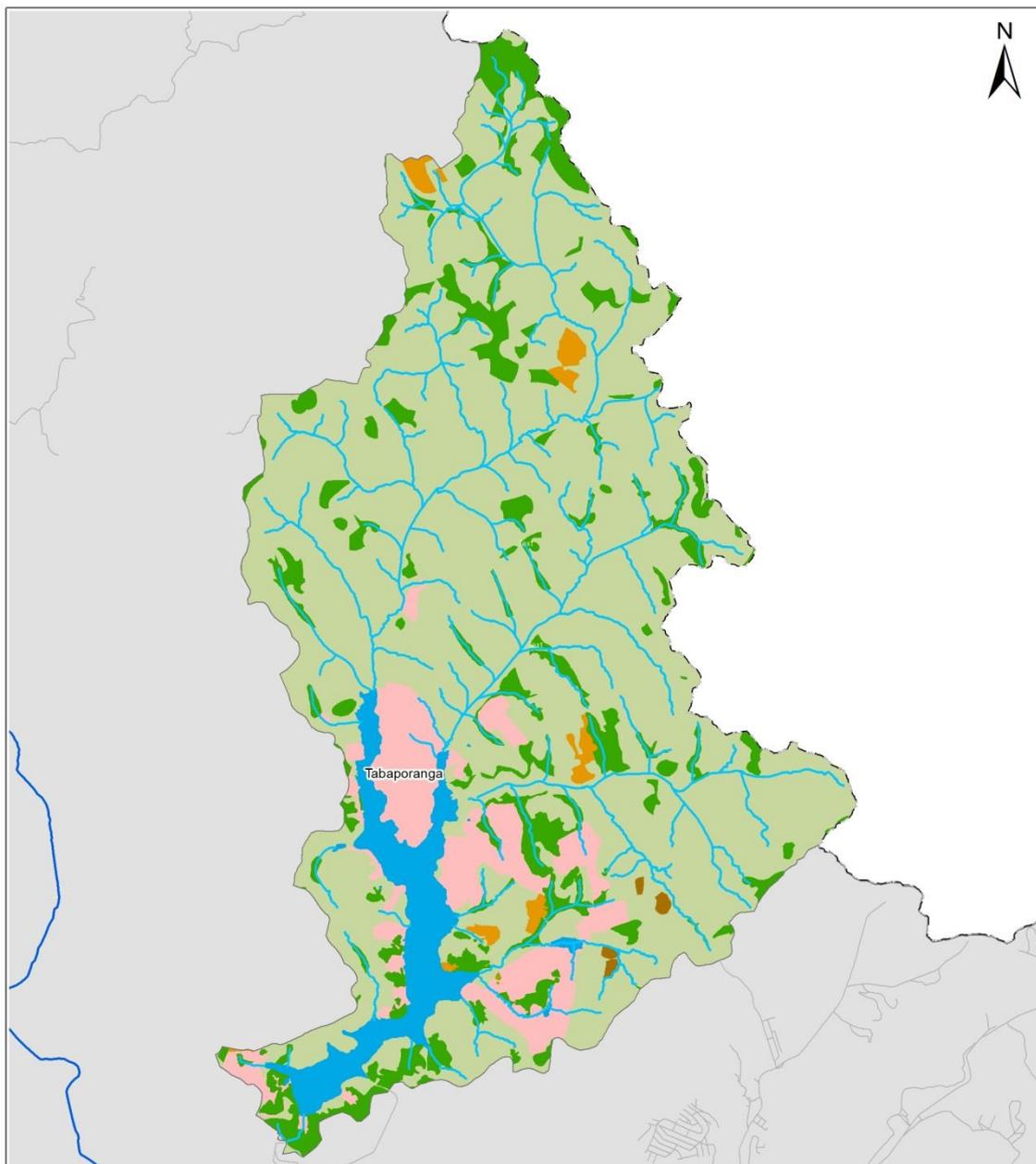
\* Apresentando valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

\*\* Todos os valores em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Os reservatórios paulistas utilizados para comparação foram: Res. das Graças, Res. Capivari-Monos, Res. do Cabuçu, Res. Tanque Grande, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. Juqueri ou Paiva Castro, Res. do Rio Jundiá UGRHI 06, Res. do Jaguari UGRHI 02-JAGJ 00200, Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100, Res. Guarapiranga - GUAR 00900, Res. Taiapuêba.

## ANEXO A - Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido

### USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO



#### LEGENDA

— HIDROGRAFIA

— RIO PARAIBUNA

— ARRUAMENTO

— REPRESA

— MUNICÍPIO

— PERÍMETRO DO MUNICÍPIO

#### USO E COBERTURA DA TERRA

— Mata Nativa

— Agricultura

— Corpos D'água

— Área Edificada

— Solo Exposto

— Pastagem

#### ESCALA GRÁFICA

0 0,4250,85 1,7 2,55 3,4 Km

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Datum SAD-1969 Zona 23 Sul

FONTE: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora.

ÓRGÃO: Prefeitura de Juiz de Fora - PJF - SEPLAG-JF

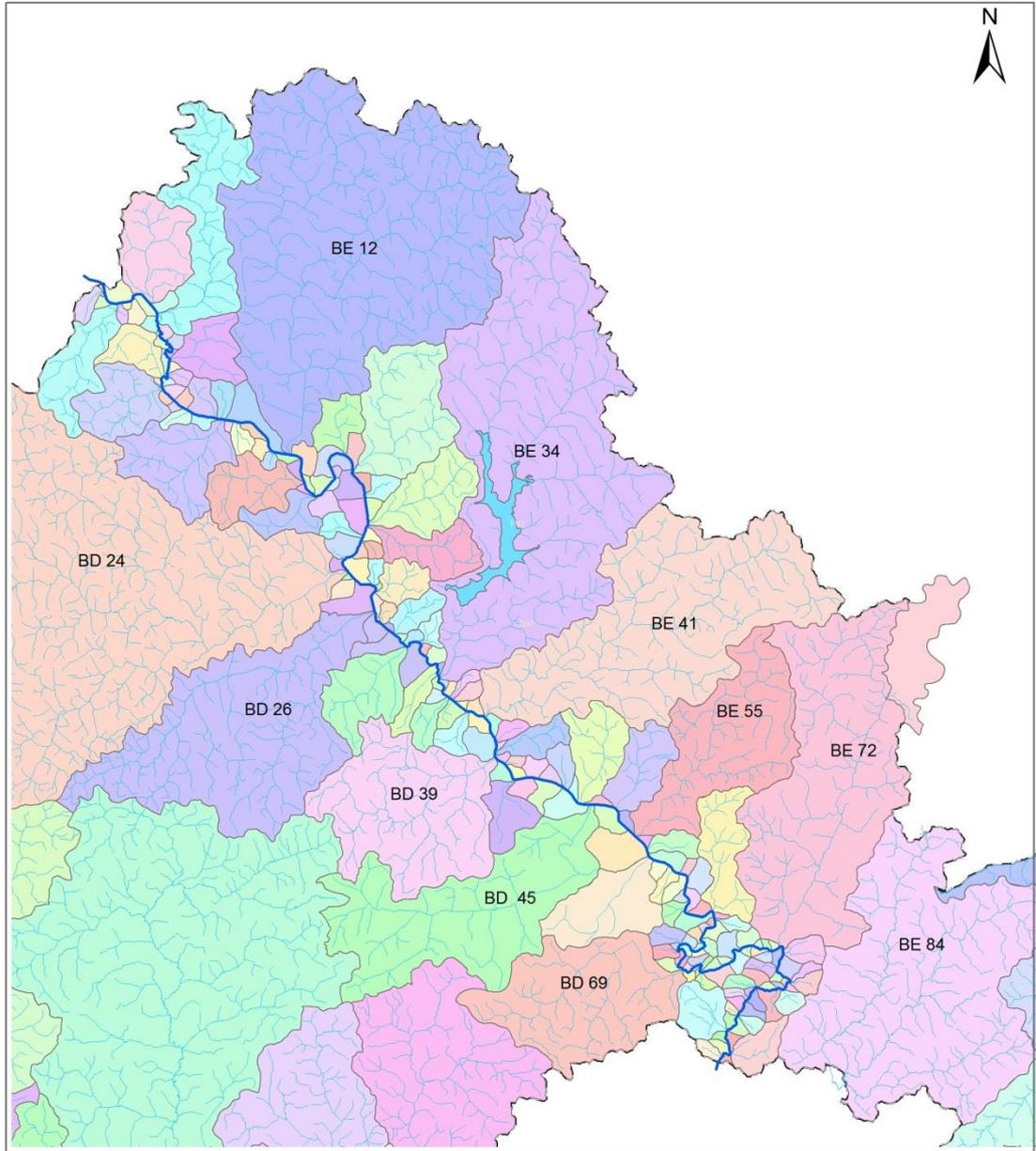
EXECUÇÃO: Setor Geoprocessamento

DATA: Agosto, 2015.

Fonte: JUIZ DE FORA (2015g).

### ANEXO B - Principais Sub-bacias Hidrográficas do Rio Paraibuna de Juiz de Fora (MG)

PRINCIPAIS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARAIBUNA - JUIZ DE FORA - MG



**LEGENDA**

-  HIDROGRAFIA
-  RIO PARAIBUNA
-  ARRUAMENTO
-  SUB-BACIA HIDROGRÁFICA RIBEIRÃO DOS BURROS - BE 34
-  REPRESA
-  MUNICÍPIO
-  PERÍMETRO DO MUNICÍPIO

ESCALA GRÁFICA



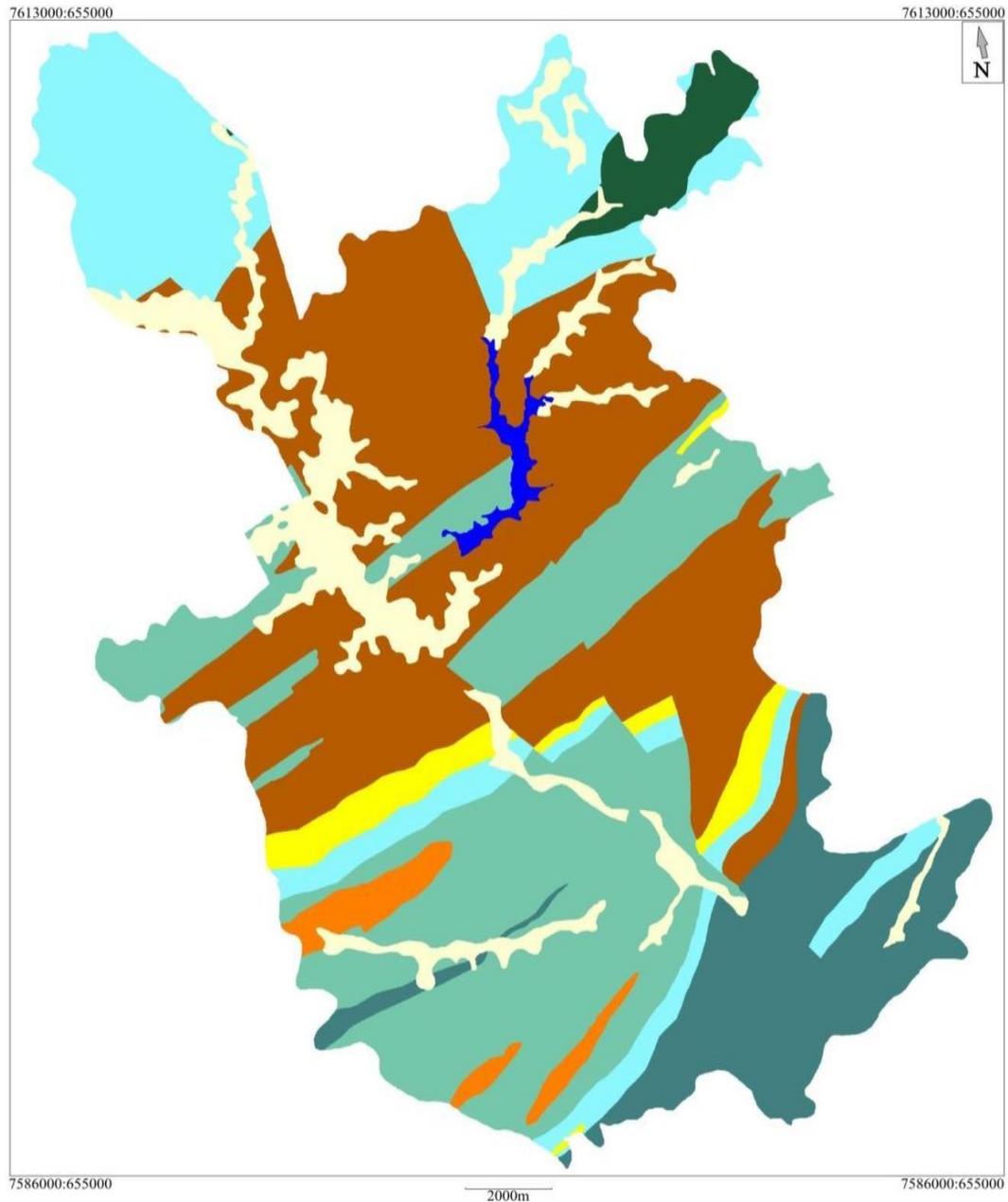
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Datum SAD-1969 Zona 23 Sul

Fonte: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora.  
Órgão: Prefeitura de Juiz de Fora - PJF - SEPLAG-JF  
Execução: Setor Geoprocessamento  
Data: Agosto, 2015.

Fonte: JUIZ DE FORA (2015e).

## ANEXO C - Unidades Litológicas da área urbana de Juiz de Fora - MG

### UNIDADES LITOLÓGICAS DA ÁREA URBANA DE JUIZ DE FORA - MG



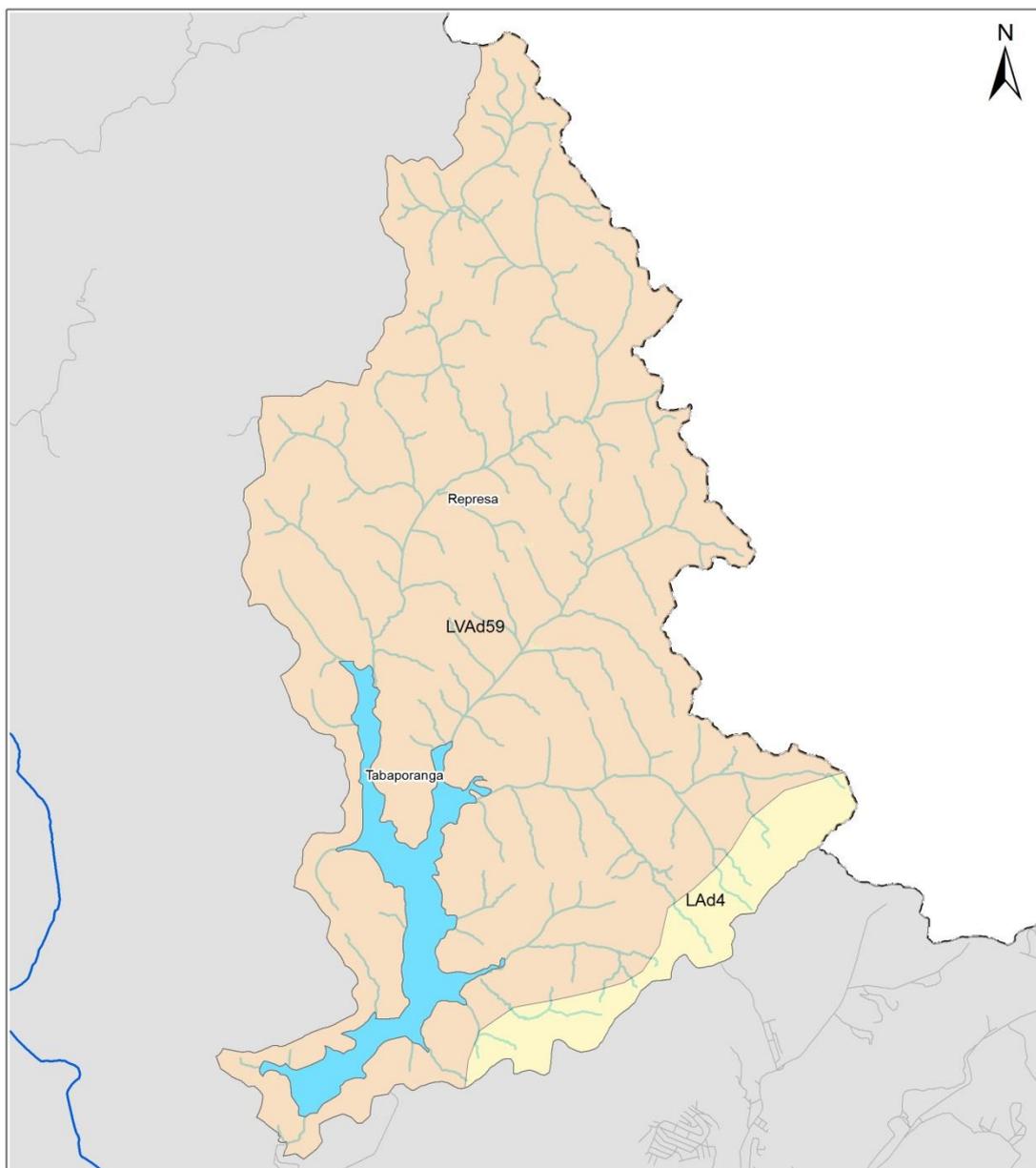
- Represa Dr. João Penido
- Sedimentos Fluviais e Colúvias, Cenozóicos
- Granada Charnoclitó e Granada Leucogranito Foliados
- (Sillimanita)-Granada-Biotita Gnaíse, Rocha Calcissilicática, Anfibólio e Gondito
- Quartzito Impuro
- Biotita Gnaíse Bandado
- Gnaíse Quartzoso, Rocha Anfibolítica
- Complexo Mantiqueira: Hombleda-Biotita Ortognaíse Tonalítico a Granítico, Rocha Anfibolítica
- Complexo Juiz de Fora: Ortogranulito Enderbítico a Chanoclitó, com Tipos Gabróicos Subordinados

SAGA/UFRJ  
(Sistema de Análise Geo-Ambiental)  
Resolução: 10m  
Fonte: COMIG - 2002  
Autores: TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira  
ROCHA, Geraldo César  
Data: 20/05/2004

**Fonte:** ROCHA (2006).

## ANEXO D – Unidades de mapeamento de solos da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido

### UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO



#### LEGENDA

- HIDROGRAFIA
- RIO PARAIBUNA
- ARRUEAMENTO
- LAd4
- LVA59
- REPRESA
- MUNICIPIO
- PERÍMETRO DO MUNICIPIO

#### ESCALA GRÁFICA

0 0,4250,85 1,7 2,55 3,4 Km

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Datum SAD-1969 Zona 23 Sul

FONTE: Base Cartográfica Municipal de Juiz de Fora.  
Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais  
UFLA/UFV - 2010

ÓRGÃO: Prefeitura de Juiz de Fora - PJF - SEPLAG-JF

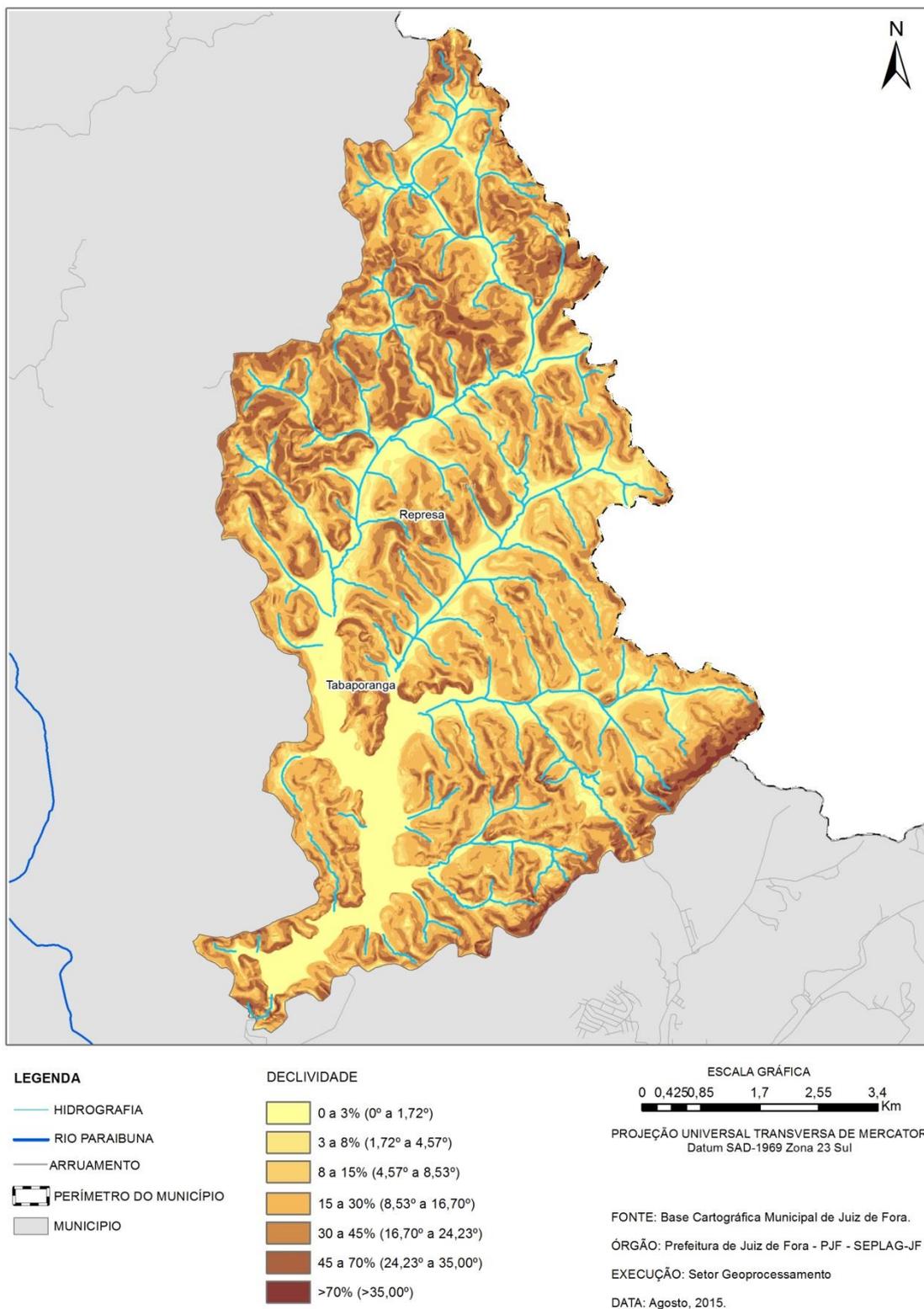
EXECUÇÃO: Setor Geoprocessamento

DATA: Agosto, 2015.

**Fonte:** JUIZ DE FORA (2015f).

## ANEXO E – Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica da Represa Dr. João Penido

MAPA DE DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO



Fonte: JUIZ DE FORA (2015d).

**ANEXO F** - Equações utilizadas para o cálculo do índice de qualidade para cada parâmetro (qs), que são utilizadas no programa de cálculo do IQA

As equações abaixo estão de acordo com Minas Gerais (2005):

a) Oxigênio dissolvido (% OD)

Para a determinação do índice para oxigênio dissolvido, primeiramente determina-se a concentração de saturação de oxigênio:

$$C_s = \left(14,2 \times e^{-0,0212 \times T} - \left(0,0016 \times C_{Cl} \times e^{-0,0264 \times T}\right)\right) \times (0,994 - (0,0001042 \times H))$$

onde:

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio (mg/L)

$T$  – temperatura (°C)

$C_{Cl}$  – Concentração de cloreto (mg/L)

$H$  – Altitude (m)

Depois, calcula-se a porcentagem de oxigênio dissolvido, pela fórmula:

$$OD\% = \left(\frac{OD}{C_s}\right) \times 100$$

onde:

OD% – porcentagem de oxigênio dissolvido

OD – oxigênio dissolvido (mg/L)

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio dissolvido (mg/L)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro oxigênio dissolvido são:

- Para OD% saturação  $\leq 100$  %  $\longrightarrow$

$$q_s = 100 \times (\text{sen}(y_1))^2 - [(2,5 \times \text{sen}(y_2) - 0,018 \times OD\% + 6,86) \times \text{sen}(y_3)] + \frac{12}{e^{y_4} + e^{y_5}}$$

e:

$$y_1 = 0,01396 \times OD\% + 0,0873 \quad y_3 = \frac{\pi}{85} \times (OD\% - 15) \quad y_5 = \frac{(65 - OD\%)}{10}$$

$$y_2 = \frac{\pi}{56} \times (OD\% - 27) \quad y_4 = \frac{(OD\% - 65)}{10}$$

- Para  $100 < OD\%$  saturação  $\leq 140$   $\longrightarrow$

$$q_s = -0,00777142857142832 \times (OD\%)^2 + 1,27854285714278 \times OD\% + 49,8817148572$$

- Para OD% saturação > 140  $\longrightarrow$   $q_s = 47,0$

b) Coliformes termotolerantes (CT)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro coliformes termotolerantes são:

- Para  $CT \leq 10^5$  NMP/100mL  $\longrightarrow$

$$q_s = 98,24034 - 34,7145 \times (\log(CT)) + 2,614267 \times (\log(CT))^2 + 0,107821 \times (\log(CT))^3$$

- Para  $CT > 10^5$  NMP/100mL  $\longrightarrow$   $q_s = 3,0$

c) Potencial hidrogeniônico (pH)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro pH são:

- Para  $pH \leq 2,0$   $\longrightarrow$   $q_s = 2,0$

- Para  $2,0 < pH \leq 6,9$   $\longrightarrow$

$$q_s = -37,1085 + 41,91277 \times pH - 15,7043 \times pH^2 + 2,417486 \times pH^3 - 0,091252 \times pH^4$$

- Para  $6,9 < pH \leq 7,1$   $\longrightarrow$

$$q_s = -4,69365 - 21,4593 \times pH - 68,4561 \times pH^2 + 21,638886 \times pH^3 - 1,59165 \times pH^4$$

- Para  $7,1 < pH \leq 12$   $\longrightarrow$

$$q_s = -7.698,19 + 3.262,031 \times pH - 499,494 \times pH^2 + 33,1551 \times pH^3 - 0,810613 \times pH^4$$

- Para  $pH \geq 12,0$   $\longrightarrow$   $q_s = 3,0$

d) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro DBO são:

- Para  $DBO \leq 30 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$

$$q_s = 100,9571 - 10,7121 \times DBO + 0,49544 \times DBO^2 - 0,011167 \times DBO^3 + 0,0001 \times DBO^4$$

- Para  $DBO > 30,0 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = 2,0$

e) Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro  $\text{NO}_3^-$  são:

- Para  $\text{NO}_3^- \leq 10 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = -5,1 \times \text{NO}_3 + 100,17$

- Para  $10 < \text{NO}_3^- \leq 60 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = -22,853 \times \ln(\text{NO}_3) + 101,18$

- Para  $60 < \text{NO}_3^- \leq 90 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = 10.000.000.000 \times (\text{NO}_3)^{-5,1161}$

- Para  $\text{NO}_3^- > 90 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = 1,0$

f) Fosfato total ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro fosfato total ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) são:

- Para  $\text{PO}_4^{-3} \leq 10 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = 79,7 \times (\text{PO}_4 + 0,821)^{-1,15}$

- Para  $\text{PO}_4^{-3} > 10,0 \text{ mg/L}$   $\longrightarrow$   $q_s = 5,0$

g) Turbidez (UNT)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro turbidez (Tu) são:

- Para  $Tu \leq 100$   $\longrightarrow$

$$q_s = 90,37 \times e^{(-0,0169 \times Tu)} - 1,5 \times \cos(0,0571 \times (Tu - 30)) + 10,22 \times e^{(-0,231 \times Tu)} - 0,8$$

- Para  $Tu > 100$   $\longrightarrow$   $q_s = 5,0$

## h) Sólidos totais (ST)

As equações para o cálculo do  $q_s$  para o parâmetro sólidos totais (ST) são:

- Para  $ST \leq 500$   $\longrightarrow$

$$q_s = 133,17 \times e^{(-0,0027 \times ST)} - 53,17 \times e^{(-0,0141 \times ST)} + \left( (-6,2 \times e^{(-0,00462 \times ST)}) \times \text{sen}(0,0146 \times ST) \right)$$

- Para  $ST > 500$   $\longrightarrow$   $q_s = 30,0$

Varição de temperatura  $\longrightarrow$   $q_s = 92$

O  $q_s$  utilizado para variação de temperatura neste estudo é constante igual a 92.

**ANEXO G** - Variação dos resultados de metais em águas (mg/L) referentes às amostragens realizadas no ano de 2012, nos reservatórios “classe especial” utilizados para abastecimento público no estado de São Paulo (valores máximos e mínimos)

Reservatório paulista	Metais											
	Cd Tot.	Pb Tot.	Cu		Cr Tot.	Fe		Mn Tot.	Zn Tot.	Ni Tot.	K	Na
			Tot.	Diss.		Tot.	Diss.					
Res. das Graças	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,39	0,13	0,02	< 0,02	< 0,02	0,44	1,77
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		a	a
	< 0,0007	< 0,009	0,02			0,92	0,34*	0,03	0,05		1,13	2,06
Res. Capivari-Monos	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	1,2	< 0,1	0,05	< 0,02	< 0,02	0,59	1,97
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		a	a
	< 0,0007	< 0,009				1,71	0,52*	0,06	0,04		0,94	2,6
Res. do Cabuçu	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,24	0,14	0,02		< 0,02	1,06	1,75
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	< 0,02		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009				0,64	0,41*	0,08			1,59	2,33
Res. Tanque Grande	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,56	0,19	0,12*		< 0,02	0,92	2,01
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	< 0,02		< 0,02	a
	0,0006	< 0,009	0,02			2,62	0,33*	0,23*			1,58	3,15
Res. Juqueri ou Paiva Castro	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,26	< 0,1	0,02	< 0,02	< 0,02	1,69	2,22
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009				0,51	0,14	0,04	0,03		2,22	4,78
Res. do Rio Jundiá UGRHI 06	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,35	< 0,1	0,04	< 0,02	< 0,02	1,69	2,58
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009	0,02			1,94	0,22	0,13*	0,03		3,51	18,0
Res. do Jaguari UGRHI 02-JAGJ 00200	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,12	< 0,1	< 0,05		< 0,02	1,72	2,64
	a	a	a	< 0,009	a	a	a	a	< 0,02		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009			< 0,05	0,61	0,2	0,03			3,26	9,28
Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,19	< 0,1	0,02	< 0,02	< 0,02	3,9	12,3
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009				0,25		0,05	0,04		5,34	17,3
Res. Guarapiranga - GUAR 00900	< 0,0005	< 0,005	0,02		< 0,02	0,12	< 0,1	0,04	< 0,02	< 0,02	3,02	8,55
	a	a	a	0,01*		a	a	a	a		< 0,02	a
	< 0,0007	< 0,009	0,08	0,04*		0,22		0,06	0,07		3,86	12,6
Res. Taiaçupeba	< 0,0005	< 0,005	< 0,01		< 0,02	0,72	< 0,1	0,1	< 0,02	< 0,02	2,07	3,77
	a	a	a	< 0,009		a	a	a	a		< 0,02	a
	< 0,0007	0,005				1,36	0,21	0,13*	0,03		2,28	5,11

**Fonte:** Adaptado de CETESB (2012; 2013c).

Nota: Sinal convencional utilizado:

\*Valores em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). A CETESB comparou os resultados, utilizando como referência águas doces “classe 1”, tendo em vista que não há padrões definidos para a “classe especial”.

**ANEXO H** - Resultados de ocorrência do IQA trimestral nos corpos d'água do Estado de Minas Gerais, ao longo da série histórica de monitoramento (período de 1997 a 2012)

Ano	IQA (%)			
	Bom	Médio	Ruim	Muito ruim
1997	30	54	14	2
1998	32	50	17	2
1999	33	46	19	3
2000	31	46	21	2
2001	35	46	16	3
2002	31	47	19	4
2003	34	45	19	2
2004	35	43	21	1
2005	35	44	19	1
2006	40	41	17	1
2007	31	47	19	2
2008	30	45	23	2
2009	25	50	24	1
2010	23	54	21	1
2011	18	60	21	1
2012	26	57	16	1

**Fonte:** Adaptado de IGAM (2013).

**ANEXO I** - Resultados de ocorrência do IET trimestral nos corpos d'água lóticos do estado de Minas Gerais para o período de 2007 a 2012 (banco de dados disponíveis a partir de 2007).

Ano	IET (%)					
	Hiper-eutrófico	Super-eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Ultra-oligotófico
2007	9,8	12,9	20,0	39,8	11,8	5,7
2008	10,1	12,9	20,8	39,7	9,8	6,8
2009	7,1	9,4	17,2	38,7	13,3	14,4
2010	7,6	8,7	17,2	39,8	12,4	14,3
2011	6,9	9,4	19,7	44,6	9,8	9,6
2012	7,3	6,7	15,9	39,8	12,6	17,8

**Fonte:** Adaptado de IGAM (2013).

**ANEXO J** - Resultados das médias para os resultados do IQA e IET referentes aos reservatórios utilizados para abastecimento público, monitorados em 2012 no estado de São Paulo (águas doces, “classe especial”)

<b>Reservatório (SP)</b>	<b>IQA</b>	<b>IET</b>
Reserv. das Graças	79	52
Reserv. Capivari-Monos	71	46
Reserv. do Cabuçu	84	51
Reserv. Tanque Grande	73	47
Reserv. Juqueri ou Paiva Castro	81	49
Reserv. do Rio Jundiá - UGRHI 06	84	55
Reservatório Jaguari - UGRHI 02-JAGJ 00200	73	55
Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100	81	58
Reserv. Guarapiranga - GUAR 00900	76	57
Reserv. Taiapuê	84	52

**Fonte:** adaptado de CETESB (2013c)

**Legenda:**

**IQA:** ■ Ótima ■ Boa ■ Regular ■ Ruim ■ Péssima

**IET:** ■ Ultraoligotrófico ■ Oligotrófico ■ Mesotrófico ■ Eutrófico ■ Supereutrófico ■ Hipereutrófico

**ANEXO K** – Variação dos resultados dos principais parâmetros de qualidade da água referentes às amostragens realizadas no ano de 2012, nos reservatórios “classe especial” utilizados para abastecimento público no estado de São Paulo (valores máximos e mínimos)

Reservatório	Condutividade (µs/cm)	Turbidez (UNT)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Amônio (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	PT (mg/L)	Clorofila a (µg/L)	Cor (mg Pt/L)	pH
Res. das Graças	15,7 a 18,2	3,7 a 8,4	<0,01	<0,1 a <0,2	<0,1 a 0,33	7,4 a 8,4	<3	<0,007 a 0,039*	4,28 a 15,15*	21 a 61	6,2 a 7,2
Res. Capivari-Monos	21,0 a 36,0	4,5 a 17,2	<0,01 a <0,1	<0,2 a 0,26	<0,1 a 0,16	4,1* a 6,9	<3 a 4*	<0,007	<0,01 a 6,24	27 a 44	6,1 a 6,5
Res. do Cabuçu	35,5 a 56,0	2,3 a 6,2	<0,01 a <0,1	<0,2 a 0,22	<0,1 a 0,34	7,2 a 9,6	<3 a 4*	<0,007 a 0,03*	4,72 a 14,26*	7 a 40	6,9 a 8,5
Res. Tanque Grande	49,7 a 122,0	4,6 a 55,0*	<0,01	<0,1 a <0,2	<0,1 a 0,43	6,3 a 8,2	<3	<0,007	0,38 a 4,28	9 a 50	6,9 a 7,9
Res. Juqueri ou Paiva Castro	34,0 a 38,0	1,9 a 24,0	<0,01 a 0,01	<0,2 a 0,1	<0,1 a 0,21	7,6 a 9,0	<3	<0,007	1,34 a 5,35	<5 a 27	6,9 a 7,7
Res. do Rio Jundiá UGRHI 06	38,1 a 87,6	2,0 a 4,6	<0,01	<0,1 a <0,2	<0,1 a 0,25	6,5 a 8,5	<3 a 4*	<0,007 a 0,029*	16,04* a 30,74*	9 a 22	5,1* a 7,6
Res. Jaguari - UGRHI 02-JAGJ 00200	32,0 a 78,0	1,4 a 21	<0,01 e 0,01	<0,1 a 0,3	<0,5	1,7* a 12,0	2 a 11*	<0,007 a 0,052*	2,41 a 110,93*	9 a 35	6,5 a 9,7*
Braço Taquacetuba - Res. Billings BITQ 00100	162,0 a 194,0	5,6 a 25,0	<0,01 e 0,01	<0,2 a 0,46	<0,1 a 0,21	6,5 a 10,0	3 a 4*	<0,007 a 0,048*	29,25* a 63,71*	<5 a 39	7,8 a 9,4*
Res. Guarapiranga - GUAR 00900	117,0 a 141,7	1,4 a 6,0	<0,1 a 0,11	0,3 a 1,03	<0,1 a 0,25	5,8* a 11,6	<3 a 6*	<0,007 a 0,037*	18,33* a 41,16*	12 a 29	7,2 a 9,4*
Res. Taiaçupeba	52,1 a 62,0	3,0 a 36,2	<0,01	<0,1 a <0,2	<0,1 a 0,48	7,3 a 8,6	<3 a 3	<0,007	5,88 a 17,11*	16 a 34	7,0 a 7,9

**Fonte:** Adaptado de CETESB (2012; 2013c).

Nota: Sinal convencional utilizado:

\* Valores em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). A CETESB comparou os resultados, utilizando como referência águas doces “classe 1”, tendo em vista que não há padrões definidos para a “classe especial”.