



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental



**CONTRIBUIÇÕES PARA DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU**

Autor: Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

Ouro Preto, MG

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental



Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva

**“CONTRIBUIÇÕES PARA DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental” – Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser

Ouro Preto, MG

2017

S586c

Silva, Gabriel Figueiredo Pantuzza .

Contribuições para diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu [manuscrito] / Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva. - 2017.
121f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. PROAMB. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

1. Bacias hidrográficas. 2. Manhuaçu (MG), Rio. 3. Doce (MG), Rio. 4. Sedimentos. 5. Diagnóstico ambiental. I. Roeser, Hubert Mathias Peter. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 556



Contribuições para diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu

Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva

Autor: Gabriel Figueiredo Pantuzza Silva

Dissertação defendida e aprovada, em 26 de julho de 2017, pela banca examinadora constituída pelos professores:

L. Hubert Roeser

Prof. Dr. Hubert Mathias Peter Roeser – Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto

Anibal da Fonseca Santiago

Prof. Dr. Anibal da Fonseca Santiago
Universidade Federal de Ouro Preto

Carlos Eduardo Ferraz de Mello

Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello
Universidade Federal de Ouro Preto

Luciano Miguel Moreira dos Santos

Prof. Dr. Luciano Miguel Moreira dos Santos
Instituto Federal de Minas Gerais - Ouro Preto

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	14
RESUMO.....	16
ABSTRACT	17
1. Introdução	18
2. Justificativa.....	22
3. Objetivo geral	23
3.1. Objetivos específicos	23
4. Caracterização da região.....	24
4.1 Clima.....	27
4.2 Pedologia.....	28
4.2.1 Geomorfologia.....	28
4.2.2 Solo.....	28
4.2.3 Litologia	29
4.2.4 Hidrogeologia.....	31
4.3 Aspectos socioeconômicos	32
4.3.1 População	32
4.3.2 PIB.....	34
4.3.3 Saneamento	35
4.3.4 Recursos hídricos na UPGRH DO6	38
5. Revisão bibliográfica	42

5.1 Parâmetros do Índice de Qualidade da Água (Agência Nacional das Águas – ANA)	43
5.1.1 Oxigênio dissolvido.....	43
5.1.2. Coliformes termotolerantes	44
5.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)	44
5.1.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5,20})	45
5.1.5 Temperatura da água	45
5.1.6 Nitrogênio total e nitrato	45
5.1.7 Fósforo total e fosfato.....	46
5.1.8 Turbidez.....	46
5.1.9. Sólidos totais e sólidos totais dissolvidos - TDS.....	47
5.2 Condutividade elétrica	47
5.3 Potencial redox (E _H).....	48
5.4 Cloreto.....	48
5.5 Vazão	48
5.6 Elementos traço.....	48
5.6.1 Lítio	49
5.6.2 Sódio.....	50
5.6.3 Magnésio	50
5.6.4 Potássio.....	50
5.6.5 Cálcio.....	51
5.6.6 Vanádio	51
5.6.7 Cromo	51
5.6.8 Ferro	51

5.6.9 Cobalto	52
5.6.10 Níquel	52
5.6.11 Cobre	52
5.6.12 Zinco.....	53
5.6.13 Arsênio	53
5.6.14 Estrôncio.....	54
5.6.15 Cádmio	54
5.6.16 Chumbo	54
5.7 Sedimentos	54
6. Metodologia	55
6.1 Pontos de coleta.....	55
6.2 Amostragem	55
6.2.1 Técnicas de coleta	55
6.2.2 Águas.....	56
6.2.3 Sedimentos	57
6.3 Medições in situ	58
6.3.1 Análises de água.....	58
6.4 Análises no laboratório	60
6.4.1 Amostras de água	60
6.4.2 Análise química.....	61
6.4.3 Amostras de sedimento	61
7. Resultados e discussão.....	62
7.1 Dados obtidos in situ.....	64
7.2 Dados do laboratório	66

7.3 Análise dos dados obtidos em laboratório	68
7.3.1 Sólidos totais	68
7.3.2 Cloretos	70
7.3.3 Alcalinidade.....	72
7.3.4 Nitrato.....	74
7.3.5 Turbidez.....	76
7.3.6. Metais na água.....	78
7.4 Análise dos dados obtidos in situ	79
7.4.1 pH.....	79
7.4.2 Sólidos Totais Dissolvidos	81
7.4.3 Potencial Redox.....	83
7.4.4 Condutividade elétrica.....	85
7.4.5 Temperatura da água e do ar	87
7.4.6 Oxigênio dissolvido.....	89
7.4.7 Altitude dos pontos.....	91
7.5 Análise dos sedimentos	92
7.5.1 Cromo, cobalto e níquel	93
7.5.2 Ferro e magnésio	95
7.5.3 Ferro e vanádio	97
7.5.4 Sódio, potássio, estrôncio e cálcio.....	99
7.5.5 Cobre e zinco.....	101
8. Conclusões	103
REFERÊNCIAS	105
Anexo I	109

Anexo II.....	111
Anexo III.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias hidrográficas do Brasil. (Fonte: ANA, 2015).....	18
Figura 2 – Localização da bacia do rio Manhuaçu na bacia do rio Doce. (Fonte: IGAM, 2010).	25
Figura 3 - Municípios mineiros da DO6. (Fonte: IGAM, 2010).	26
Figura 4 - Solos da bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).....	28
Figura 5 - Litologia predominante na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).....	31
Figura 6 - Hidrogeologia da bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).	32
Figura 7 - Limite dos municípios da DO6 e suas sedes. (Fonte IGAM, 2008). .	34
Figura 8 - Divisão do PIB da DO6 por setor. (Fonte: IGAM, 2008).....	35
Figura 9 - Esgoto doméstico na DO6 em Manhuaçu, novembro de 2016.....	36
Figura 10 - Vazões médias mensais da UPGRH DO6. (Fonte: IGAM, 2008)...	39
Figura 11 - Vazões médias anuais. (Fonte: IGAM, 2008).....	39
Figura 12 - Disponibilidade hídrica subterrânea na bacia rio Doce. (Fonte: PIRH, 2008).....	40
Figura 13 - Composição percentual do uso de água superficial e subterrânea na UPGRH DO6. (Fonte: IGAM, 2008).	41
Figura 14 - Estrada de terra no período chuvoso, em novembro de 2016.	62
Figura 15 - Pontos de coleta na DO6.....	63
Figura 16 - Sólidos totais no período seco.....	68
Figura 17 – Sólidos totais no período chuvoso.....	68
Figura 18 – Cloretos no período seco.	70
Figura 19 – Cloretos no período chuvoso.....	70

Figura 20 - Ponte sobre o rio Manhuaçu, novembro de 2016.	71
Figura 21 – Alcalinidade no período seco.	72
Figura 22 – Alcalinidade no período chuvoso.	72
Figura 23 – Nitrato no período seco.	74
Figura 24 – Nitrato no período chuvoso.	74
Figura 25 – Turbidez no período seco.	76
Figura 26 – Turbidez no período chuvoso.	76
Figura 27 - Trecho do rio Manhuaçu, novembro de 2016.	78
Figura 28 – pH no período seco.	79
Figura 29 – pH no período chuvoso.	79
Figura 30 – TDS no período seco.	81
Figura 31 – TDS no período chuvoso.	81
Figura 32 – ORP no período seco.	83
Figura 33 – ORP no período chuvoso.	83
Figura 34 - Condutividade elétrica no período seco.	85
Figura 35 - Condutividade elétrica no período chuvoso.	85
Figura 36 - Temperatura da água no período seco.	87
Figura 37 - Temperatura da água no período chuvoso.	87
Figura 38 – OD no período seco.	89
Figura 39 – OD no período chuvoso.	89
Figura 40 - Trecho do rio Manhuaçu.	90
Figura 41 - Altitude dos pontos de coleta.	91
Figura 42- Cromo, cobalto e níquel no período de seca.	93
Figura 43 - Cromo, cobalto e níquel no período chuvoso.	93

Figura 44 - Ferro e magnésio no período seco.	95
Figura 45 - Ferro e magnésio no período chuvoso.	95
Figura 46 - Ferro e vanádio no período seco.	97
Figura 47 - Ferro e vanádio no período chuvoso.	97
Figura 48 - Sódio, potássio, estrôncio e cálcio no período seco.	99
Figura 49 - Sódio, potássio, estrôncio e cálcio no período chuvoso.	99
Figura 50 - Cobre e zinco no período seco.	101
Figura 51 - Cobre e zinco no período chuvoso.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. Clima dos principais municípios da DO6. (Fonte: KOEPPEN BRASIL, 2016).....	27
Tabela 3 - Erosão na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: FARIA et al., 2010).....	29
Tabela 4 – População da DO6. (Fonte IBGE, 2007).	32
Tabela 5 - Indicadores de vida e doença nos municípios da UPGRH DO6. (Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil e GUIMARÃES, 2010).....	37
Tabela 6 - Disponibilidade hídrica na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).....	38
Tabela 7 - Parâmetros do IQA. (Fonte: ANA, 2009).....	43
Tabela 8 - Parâmetros de medição <i>in situ</i>	58
Tabela 9 - Análises no laboratório.	60
Tabela 10 - Dados obtidos <i>in situ</i> , período seco.	64
Tabela 11- Dados obtidos <i>in situ</i> , período chuvoso.	65
Tabela 12 - Resultados analisados em laboratório, período seco.	66
Tabela 13 - Resultados analisados em laboratório, período chuvoso.	67
Tabela 14 - Concentração de metais e metalóides nos sedimentos de alguns rios da Bacia do Rio Doce. (Fonte: Reis et al, 2017)	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Água

Aw – Clima tropical com estação seca no inverno

BR – Brasil

CETESB – Companhia ambiental do estado de São Paulo

CONAMA – Conselho nacional do meio ambiente

COPASA – Companhia de saneamento de Minas Gerais

Cwa – Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente

Cwb - Clima temperado marítimo ou clima tropical de altitude

DBO5,20 – Demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias a 20 graus Celsius

DEGEO – Departamento de geologia

DO6 – UPGRH do Rio Manhuaçu, sub-bacia do Rio Doce

EOS – Espectrofotômetro de emissão atômica

GPS – Global positioning system

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP – Espectrometria com fonte de plasma acoplado

IDS – Indicador de desenvolvimento sustentável

IQA – Índice de Qualidade das Águas

IGAM – Instituto mineiro de gestão das águas

LGQA – Laboratório de geoquímica ambiental, UFOP

LSA – Laboratório de saneamento ambiental, UFOP

LQ – Limite de quantificação

MG – Minas Gerais

OD – Oxigênio Dissolvido

ONG – Organização Não Governamental

OMS – Organização Mundial de Saúde

ORP – Potencial de Oxirredução

PIB – Produto interno bruto

PARH – Plano de ações de recursos hídricos

pH – Potencial Hidrogeniônico

POP – Procedimento operacional padrão

PVC – Policloreto de viníla

SAAE – Serviço autônomo de água e esgoto

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos

TXRF – Espectrometria de fluorescência de raio-X

UFOP – Universidade federal de Ouro Preto

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

UTM – Universal transversa de mercator

RESUMO

O diagnóstico ambiental é uma importante ferramenta no controle e preservação do meio ambiente, por ser uma caracterização da qualidade ambiental atual da área estudada, de modo a fornecer conhecimento suficiente para identificar e avaliar os impactos nos meios físico, biológico e socioeconômico. A partir do conhecimento dos recursos da região, é possível planejar as devidas intervenções. A bacia do rio Manhuaçu, uma sub-bacia do rio Doce, está localizada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, contendo 9.186,06 km² de área de drenagem. Os problemas hídricos e ambientais mais presentes na bacia do rio Manhuaçu são falta de tratamento de esgoto, poluição urbana, erosões, assoreamento, falta de proteção a matas ciliares, e diminuição das águas dos rios. O presente trabalho teve como objetivo contribuir para um diagnóstico ambiental da bacia do rio Manhuaçu, a partir da caracterização de parâmetros físicos e químicos (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, TDS, ORP, turbidez, alcalinidade, sólidos totais, cloretos, nitrato) e da determinação da presença e concentração de diversos elementos metálicos nas águas e sedimentos. A bacia do rio Manhuaçu foi também caracterizada em seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais. O monitoramento hídrico e geoquímico foi feito em 2016 em duas campanhas realizadas em períodos diferentes: seco e chuvoso. Foram selecionados 30 pontos ao longo do rio Manhuaçu e seus principais afluentes, e os materiais coletados em cada local foram água e sedimento. Pode-se perceber que a água e sedimentos desta bacia estão impactados principalmente por poluição urbana e de atividades de plantio ou cultivos familiares e de pequeno porte. Os parâmetros físico-químicos encontraram-se dentro dos limites estipulados pelo CONAMA. Os valores de oxigênio dissolvido só apresentaram depleção em dois pontos. A condutividade elétrica em um ponto apresentou valores muito acima dos demais. O potencial de oxi-redução e nitrato diminuíram no período chuvoso em todos os pontos, de acordo com o esperado com o aumento da vazão da bacia. Os metais encontrados na bacia do rio Manhuaçu não demonstraram nenhum impacto ambiental antrópico, tendo sido encontrados em concentrações baixas que não apresentam riscos à saúde.

ABSTRACT

The environmental diagnosis is an important tool in the control and preservation of the environment, as it is a characterization of the current environmental quality of the studied area, in order to provide sufficient knowledge to support the identification and evaluation of physical, biological and socioeconomic impacts. Accordingly to the resources of the region, it is possible to plan the appropriate interventions. The Manhuaçu river basin, a sub-basin of the Doce river, is located in the states of Minas Gerais and Espírito Santo, Brazil, containing 9,186.06 km² of drainage area. The water and environmental problems found in the Manhuaçu river basin are the lack of sewage treatment, urban pollution, erosion, silting, lack of protection of riparian forests, and the reduction of the volume of river waters. The purpose of this work was to contribute to the environmental diagnosis of the Manhuaçu River Basin, based on the characterization of physical and chemical parameters (pH, temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, resistivity, total dissolved solids, oxy-reduction potential, turbidity, alkalinity, total solids, chlorides, nitrate) and the determination of the presence and concentration of various metallic elements in waters and sediments. The watershed of the Manhuaçu River was also characterized in its demographic, geographic, economic, social and environmental aspects. The water and geochemical monitoring was done in 2016 in two campaigns carried out in different periods: one during the dry season, and one in the rainy season. Thirty points were selected along the Manhuaçu River and its main tributaries, and the materials collected at each site were water and sediments. According to the results, the water and sediments of this basin are impacted mainly by urban pollution and small-scale family planting activities. The physical-chemical parameters were within the limits stipulated by CONAMA. The values of dissolved oxygen were only depleted at two points, where laminar flow and low volume of water predominated. The electrical conductivity at one point presented values larger than the others, which can be a result of the absence of industry in the region, indicating a high concentration of humic substances in this tributary. The oxy-reduction potential and nitrate decreased in the rainy season at all points, as expected due to the increasing basin flow. The metals found in the Manhuaçu River basin water and sediments did not show any anthropic environmental impact and were found in low concentrations that do not present any health risks.

1. Introdução

A água é o componente majoritário em todos os seres vivos, sendo o fator principal que proporcionou a vida no nosso planeta, pois todos os seres vivos dependem dela como componente de sua estrutura, veículo de nutrientes e no meio em que vivem; certamente, a qualidade da água irá decidir a continuidade da vida no planeta (GOMES, 2011). Pode-se avaliar a qualidade do meio aquático definindo a concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas, além do estudo de outros fatores como clima, solo, vegetação e influências antrópicas na região (MEYBECK e HELMER, 1992).

O Brasil é um país ímpar no que diz respeito à quantidade de água, pois possui a maior reserva de água doce disponível do planeta, chegando a 14% do total mundial. Este recurso se encontra distribuído em bacias hidrográficas pelo país, e entre elas podemos citar a bacia amazônica, que é a maior bacia hidrográfica do mundo. Outra grande parte destas águas se encontra em lençóis freáticos subterrâneos. Essa abundância levou ao pensamento de que a água é inesgotável e que seu uso indiscriminado não traria problemas (ANA, 2015).

Figura 1 - Bacias hidrográficas do Brasil. (Fonte: ANA, 2015).



Desta forma, a sociedade brasileira foi educada a pensar que todos os recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, eram inexauríveis. Este pensamento levou os seres humanos a se apropriarem dos recursos hídricos de forma equivocada e muitas vezes irresponsável, de maneira que grande parte dos cursos d'água do país se encontram poluído. Felizmente, isto já está mudando na grande maioria da população do Brasil.

Em contrapartida, com a grande quantidade de água doce encontrada no Brasil, temos a distribuição de maneira desigual no território brasileiro, sendo 68% do percentual de água doce no país localizado na região Norte, 16% no Centro Oeste, 7% no Sul, 6% no Sudeste e 3% no Nordeste. Uma vez que a concentração populacional está inversamente proporcional à concentração hídrica, a distribuição desigual desse recurso, somada ao mau uso, tem resultado em escassez em diversos municípios (REBOUÇAS, 1999).

Outro grande problema é o comprometimento dos corpos d'água, que se encontram com qualidade ruim devido ao crescimento urbano mal planejado. Ações antrópicas relacionadas ao uso e ocupação do solo em regiões próximas aos rios contribuem para impactos nas bacias hidrográficas (PEDROSO et al., 1988). A maior parte dos rios brasileiros localizados em áreas urbanas encontram-se poluídos, não sendo indicados para o consumo humano sem um prévio tratamento adequado, aumentando o custo do tratamento. Conforme uma pesquisa realizada em 2016 pela ONG SOS Mata Atlântica, 94,4% dos rios brasileiros se encontram em situação preocupante quanto à poluição (SOS MATA ATLÂNTICA, 2016).

Os problemas hídricos e ambientais mais presentes na bacia do rio Manhuaçu são a falta de tratamento de esgoto, que capta cerca de 79,2% do esgoto produzido na bacia, porém somente 1% é adequadamente tratado antes de retornar aos cursos d'água; a poluição urbana, pois a bacia destina adequadamente somente cerca de 13,4% dos resíduos sólidos produzidos e conta com 17 lixões, 5 aterros controlados e um aterro sanitário; erosões, assoreamento; falta de proteção a matas ciliares, apesar desta bacia abrigar 11 unidades de conservação; e a diminuição das águas dos rios (IGAM, 2010).

Diante de tais problemas, o diagnóstico ambiental é uma importante ferramenta no controle e na preservação do meio ambiente, pois é a caracterização da qualidade ambiental atual da área estudada, de modo a fornecer conhecimento suficiente para embasar a identificação e a avaliação dos impactos nos meios físico, biológico e socioeconômico. A partir de tal conhecimento relacionado aos recursos da região, é possível planejar as devidas intervenções.

Conforme dados do Indicador de Desenvolvimento Sustentável - IDS 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, os rios brasileiros estão aumentando o seu nível de poluição. Os indicadores do IBGE revelam quais bacias de água doce estão em situação mais crítica. O rio Doce está entre os 10 (dez) rios brasileiros com mais baixos Índice de Qualidade da Água - IQAs (IBGE, 2004).

Conforme informações coletadas no Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM:

O rio Manhuaçu nasce na Serra da Seritinga, divisa dos municípios de Divino e São João do Manhuaçu, e deságua no rio Doce, do qual é um dos principais afluentes pela margem direita, acima da cidade de Aimorés. A bacia apresenta uma população estimada de 308.792 habitantes, abrange um total de 28 municípios, possui extensão de 347 km e área de drenagem de 8.826 km², tendo como principais afluentes pela margem direita os rios José Pedro e São Manuel. Localizada na margem direita do Rio Doce, na região denominada Zona da Mata, a bacia é inserida no Bioma da Mata Atlântica (IGAM,2008).

Como resultado das inúmeras intervenções ocorridas durante o histórico de ocupação e utilização do solo para a agricultura, especialmente em função das culturas de café, principal atividade econômica da região, e das pastagens, a cobertura vegetal existente, via de regra, apresenta caráter secundário. No rio Manhuaçu, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) apresentou piora no ponto monitorado em Santana do Manhuaçu, tendo sido considerado bom em 2004 e médio em 2005. O ponto próximo a sua foz no rio Doce permaneceu, como em 2003 e 2004, no nível médio. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu encontra-se em funcionamento (IGAM, 2007).

O presente trabalho tem como área de abrangência de estudo a bacia do rio Manhuaçu, que é um dos afluentes do rio Doce. O trabalho faz parte de um projeto maior, que vem sendo desenvolvido desde os meados da década de 90, século passado, e que tem por objetivo estudar a bacia do alto rio Doce. Primeiros resultados destes trabalhos foram publicados por Eleutério (1997) e Zeferino et al. (1998), e um resumo dos resultados dos primeiros 20 anos encontra-se nas referências citadas acima, assim como em Roeser et al.(2009) e (2011). Inicialmente, os Departamentos de Geologia e Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto promoviam estas pesquisas. No entanto, com a abertura do curso de pós-graduação em Engenharia Ambiental, diversos outros trabalhos foram realizados nesta área, somando mais de 50 dissertações, teses e monografias, além de várias publicações. Estes trabalhos buscam investigar e detalhar problemas ambientais na bacia do rio Doce.

2. Justificativa

A realização deste trabalho justifica-se pelos seguintes itens:

Contribuir para a preservação dos recursos hídricos;

Agregar conhecimento a um projeto de estudo maior de caracterização da bacia do Rio Doce, que tem sido realizado na Universidade Federal de Ouro Preto a cerca de 20 anos, ao realizar o estudo específico da sub bacia do rio Manhuaçu;

Obtenção de dados atuais para diagnóstico ambiental da DO6.

3. Objetivo geral

- Contribuir para um diagnóstico ambiental da bacia do rio Manhuaçu e rio Doce.

3.1. Objetivos específicos

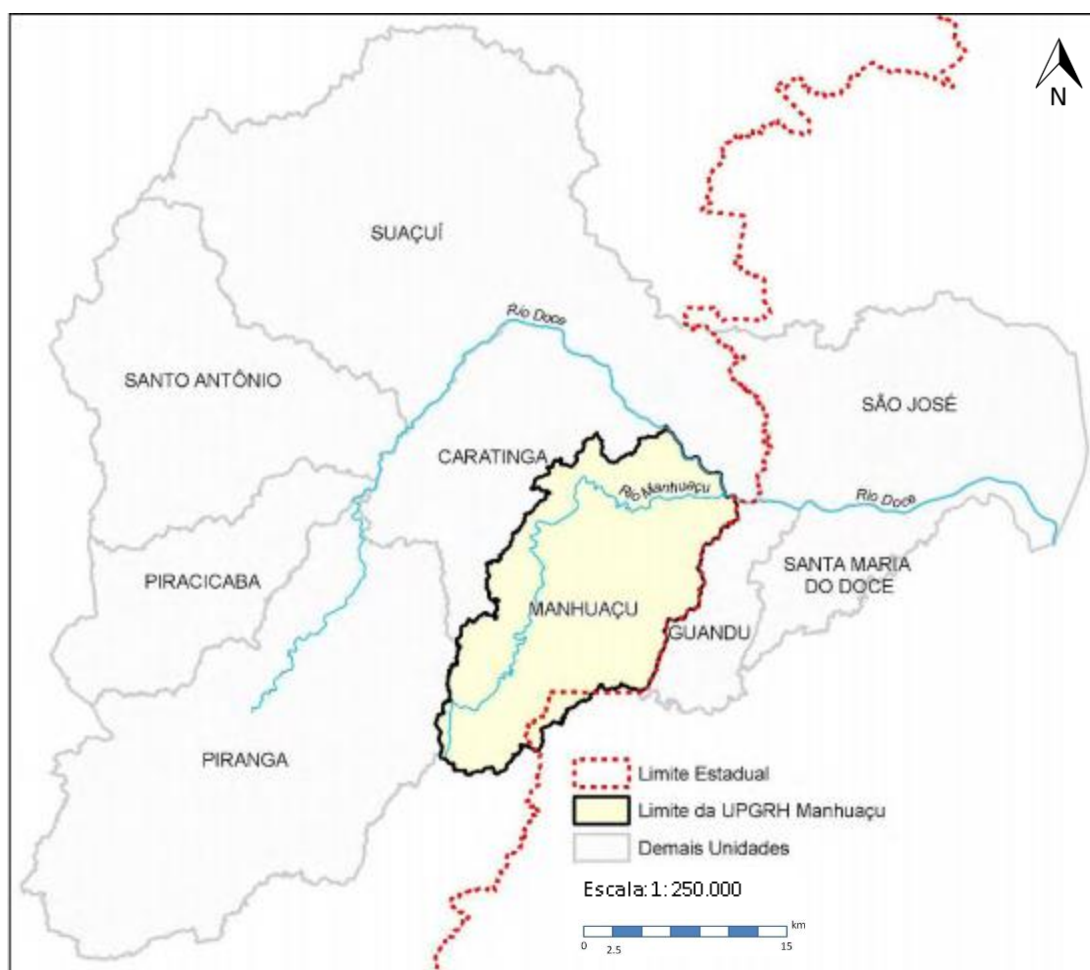
- Caracterizar, *in situ*, os parâmetros físicos e químicos: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais dissolvidos e potencial de oxi-redução;
- Caracterizar, em laboratório, os parâmetros físicos e químicos: turbidez, alcalinidade, sólidos totais, cloretos, nitrato;
- Determinar a presença e concentração dos elementos metálicos: Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Si, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn e Zr presente nas águas e sedimentos da bacia do Rio Manhuaçu;
- Caracterizar a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu em seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais e fazer o monitoramento hídrico e geoquímico sazonal, em um ano, durante os períodos seco e chuvoso, dos parâmetros acima citados.

4. Caracterização da região

A origem do nome Manhuaçu tem várias fontes, mas a principal e mais aceita, de origem Tupi-Guarani, é chuva copiosa, chuva em grande quantidade ou "Terra das Grandes Tempestades". A denominação original indígena era Manassu, passando em documentos do Séc. XVIII para Mayguassu e Mayoassu, e então finalmente para Manhuassu e Manhuaçu (GAMA, 2012).

O rio Manhuaçu possui 14 afluentes. Em sua margem esquerda, tem-se: córrego Bom Jesus, ribeirão Manhuaçuinho, rio São Simão, ribeirão Santo Apolinário, rio Jacutinga, rio Alvarenga, ribeirão Bueno e rio Ituetto. Em sua margem direita, tem-se os afluentes: ribeirão São Luiz, rio Jequitibá, córrego da Onça, ribeirão Japú e rio José Pedro, também chamado pelos índios de Panema, sendo o maior afluente, nascendo na Serra do Caparaó com percurso aproximado de 200 km. O rio do Capim é o segundo maior afluente que deságua na região do baixo Manhuaçu, e ainda possui um afluente que nasce na Lagoa Branca, próximo a foz no rio Doce, em Barra do Manhuaçu - bairro na entrada da cidade de Aimorés - onde o rio Doce já percorreu 731 km, e o rio Manhuaçu 333.3 km (GAMA, 2012).

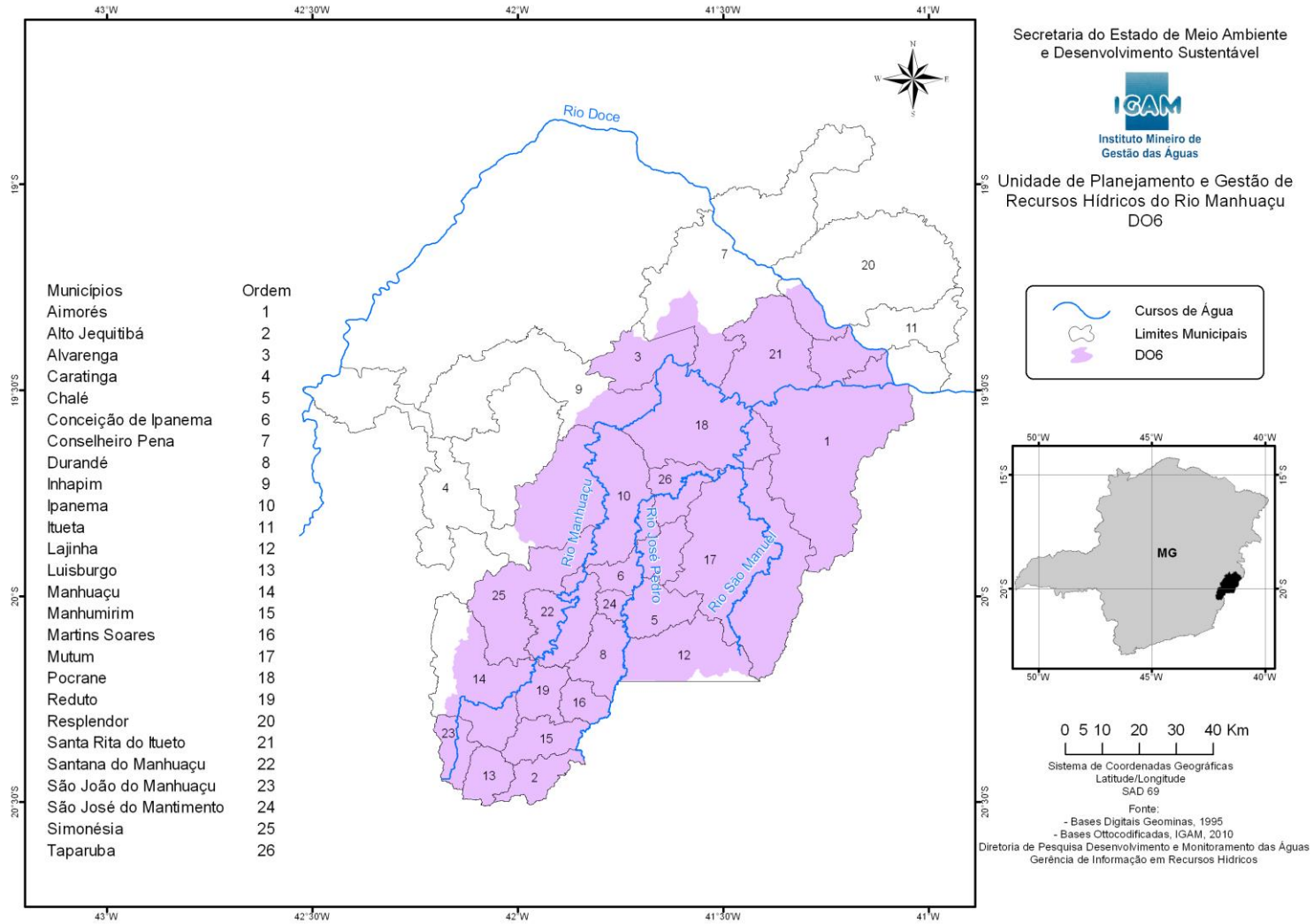
Figura 2 – Localização da bacia do rio Manhuaçu na bacia do rio Doce. (Fonte: IGAM, 2010).



A bacia do rio Manhuaçu recebe a sigla DO6 pela UPGRH, e está localizada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 2), contendo 8.826,06 km² de área de drenagem, sendo 96% desta pertencente ao estado de Minas Gerais. A parcela pertencente ao estado do Espírito Santo é considerada uma área incremental (PARH DO6, 2010).

A UPGRH DO6 abrange as mesorregiões Zona da Mata, Vale do rio Doce, e as principais vias de acesso da bacia são pelas BR-116, no trecho entre São João do Manhuaçu e Realeza, BR-474, no trecho do município de Ipanema e BR-259, que liga ao município de Aimorés, onde a bacia tem sua foz para o rio Doce. Outras rodovias regionais como a MG-108 e MG-111 também dão acesso a outros municípios da região. É importante ressaltar que esta pesquisa foca a parcela mineira da bacia, por esta representar mais de 96% da área total da mesma (PARH DO6, 2010).

Figura 3 - Municípios mineiros da DO6. (Fonte: IGAM, 2010).



4.1 Clima

Segundo a classificação Köppen, o clima predominante da região da bacia do rio Manhuaçu é o Cwb – clima temperado marítimo ou clima tropical de altitude, que apresenta verões brandos com estações chuvosas e estiagem no inverno (ALVARES et al., 2014). Abaixo, a Tabela 1 apresenta as características do clima dos principais municípios da DO6, onde classificação Cwa indica clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, Cwb indica clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado e Aw indica clima tropical com estação seca no inverno.

Tabela 1. Clima dos principais municípios da DO6. (Fonte: KOEPPEN BRASIL, 2016).

Município	Temperatura média anual (°C)	Temperatura mínima e máxima (°C)	Média pluviométrica anual (mm)	Classificação Köppen do clima	Altitude média (m)
Aimorés	25,1	22,4 – 27,6	1158	Aw	79
Alvarenga	23,1	20,0 – 25,7	1192	Aw	386
Inhapim	21,0	19,0 – 24,9	1240	Cwa	477
Ipanema	23,8	20,7 – 26,5	1142	Aw	242
Itueta	24,7	21,9 – 27,2	1153	Aw	183
Manhuaçu	20,8	17,6 – 23,5	1205	Cwb	622
Manhumirim	20,7	17,4 – 23,4	1228	Cwa	621
Mutum	24,1	21,1 – 26,7	1151	Aw	220
Pocrane	24,0	20,9 – 26,5	1152	Aw	232
Reduto	20,7	17,5 – 23,4	1215	Cwa	641
Santana do Manhuaçu	21,5	18,2 – 24,2	1176	Aw	547
São João do Manhuaçu	19,4	16,2 – 22,1	1284	Cwa	817
Simonésia	21,3	18,1 – 24,0	1179	Aw	580

4.2 Pedologia

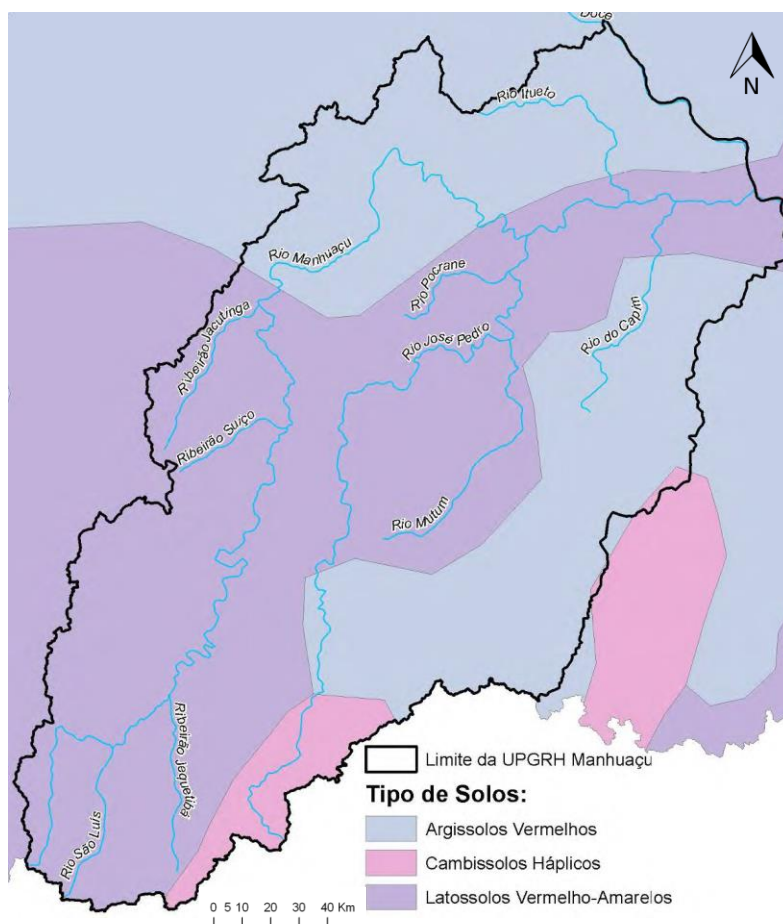
4.2.1 Geomorfologia

A geomorfologia da região da DO6, em sua maior parte, é composta por litologia pré-cambrianas e a altitude máxima encontra-se na serra do Caparaó, com 2.897m no pico da Bandeira. Este maciço é considerado anômalo em relação ao relevo do entorno, que em sua maior parte está na faixa de 900 a 1.000m (IGAM, 2008).

4.2.2 Solo

Na bacia do rio Manhuaçu, as classes de solo predominante são os Latossolos, Argilossolos e Cambissolos, dentre estes o Argilossolo é o de maior erodibilidade e os Latossolos os de menor (IGAM, 2008).

Figura 4 - Solos da bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).



O solo predominante nesta bacia é o Latossolo Vermelho-Amarelo, como pode ser visto na Figura 4, que são caracterizados por serem fundos e bem drenados. Os

Argilosos Vermelhos apresentam profundidade variável e são facilmente encharcados devido à sua menor condutividade hidráulica. Este solo é predominante em áreas cujo relevo é fortemente ondulado ou montanhoso, e por ser de fácil erosão seu uso se limita a pastagem ou plantio de culturas permanentes com ciclo longo, como exemplo o café, bastante cultivado nesta bacia hidrográfica. O Cambissolo Háplico ocupa uma pequena parte da bacia e apresentam pouca profundidade, e solos minerais bem drenados (IGAM, 2008).

Esta é uma área sujeita a fortes erosões, chegando a ser muito forte próxima a cabeceira do rio Manhuaçu. Além do relevo acidentado e dos solos sensíveis à erosão, outro fator que agrava essas ocorrências são as chuvas, com índices pluviométricos por volta de 1.200 mm ao ano. A Tabela 2 apresenta a porcentagem de área classificada por sua suscetibilidade erosiva, e a produção anual de sedimentos pela erosão (FARIA et al., 2010).

Tabela 2 - Erosão na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: FARIA et al., 2010).

Suscetibilidade erosiva	Área da bacia afetada (%)	Produção específica mínima de sedimentos (t/km ² /ano)
Muito forte	3%	
Forte	69%	100 – 200
Média	27%	

4.2.3 Litologia

As rochas constituintes da região são definidas (IGAM, 2008) da seguinte maneira:

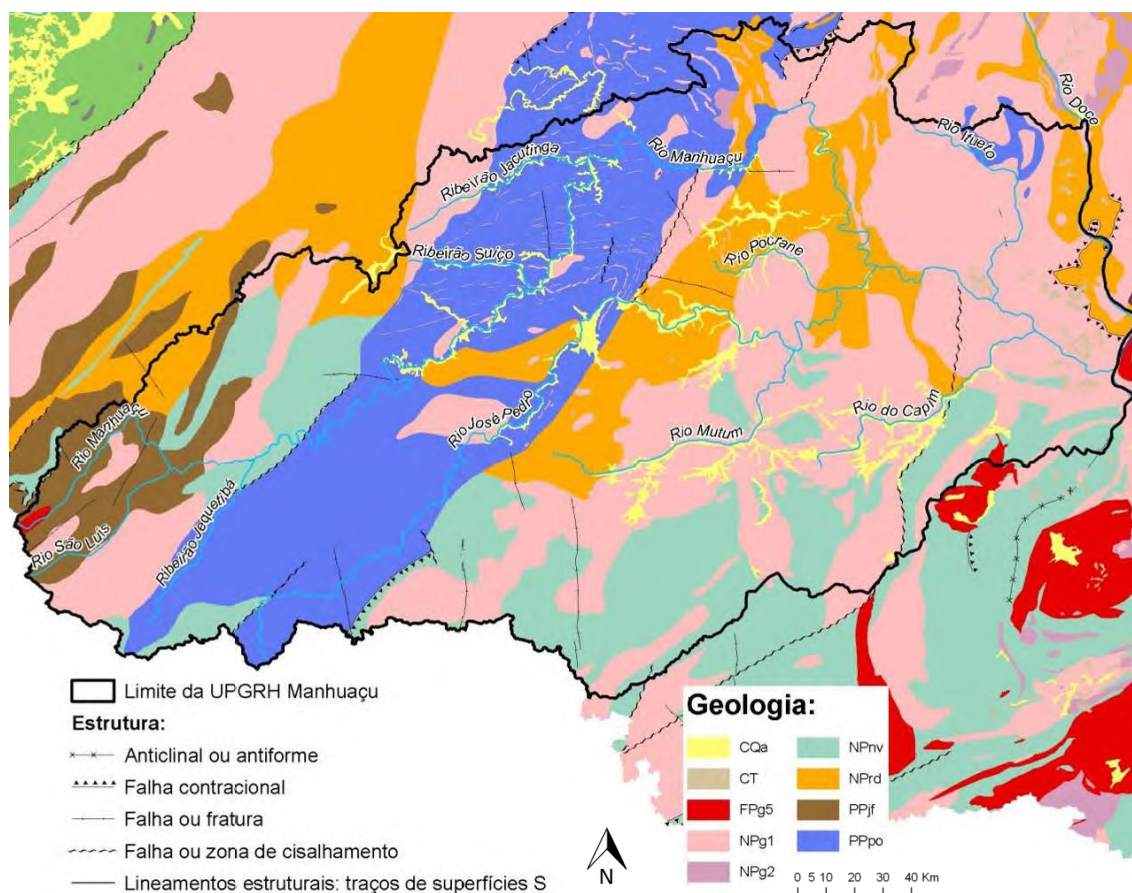
- Granitoides Pré-Colisionais (NPg1): São granitoides foleados a gnáissicos, calcialcalinos. Constituídos predominantemente por tonalitos e granodioritos.
- Complexo Pocrane (PPpo): Composto por ortognaisses associados a metassedimentos e rochas metamáficas e ultramáficas.

- Grupo Rio Doce (NPrd): situado na região do médio rio Doce, è uma mega sequência de psamopelítica e se estende das mediações de Governador Valadares até Teófilo Otoni.
- Complexo Nova Venécia (NPnv): Constituído essencialmente por biotita, gnaisses paraderivados, com intercalações de anfibolitos, quartzitos entre outros.
- Complexo Juiz de Fora (PPjf): Abrange toda região leste de Minas Gerais, na região da bacia do rio Manhuaçu é predominantemente composta por granada-biotita, opdalito, com clinopiroxênio, charnockítico entre outros.
- Depósitos Aluvionares (CQa): composto por areia, cascalho, siltes, argila e mistos com ou sem contribuição orgânica. Deposita-se nas calhas de rios e planícies.
- Coberturas terciárias (CT): Localizada somente próximo a foz da bacia para o rio Doce, composta por eluviões e coluviões eventualmente associados a sedimentos.

Há alguns registros pontuais de unidade paleozoica Granitóides Pós-colisionais (FPg5) e unidade neoproterozóica Granitóides Sincolisionais (NPg2). A distribuição pode ser verificada na Figura 5.

Há algumas concessões de lavra para exploração de bauxita, gemas, metais e licenciamentos para exploração de rochas ornamentais e areia, porém estas atividades não representam as principais atividades econômicas da região.

Figura 5 - Litologia predominante na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).

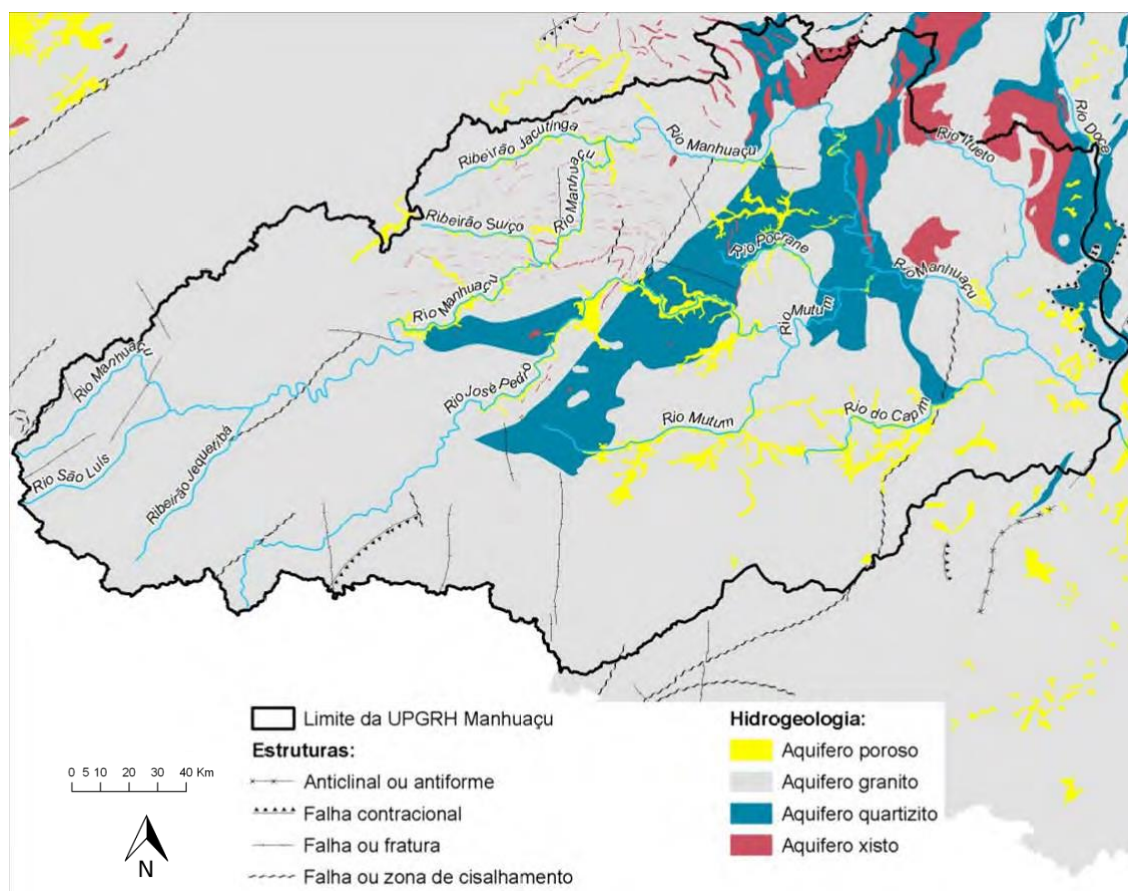


4.2.4 Hidrogeologia

Cerca de 96% da bacia do rio Manhuaçu está situada sobre sistemas aquíferos fissurados, o restante encontra-se sobre sistemas aquíferos granulares. O sistema aquífero fissurado da região é constituído pela seguinte litologia: 81% sobre os sistemas aquíferos em rocha cristalina, composto por granitoides de composição diversas; 12% sobre sistemas aquíferos fissurados em quartzito e os outros 3% sobre aquíferos fissurados xistosos.

Os de rocha cristalina são heterogêneos, os xistosos são porosos e apresentam uma menor vazão específica quando comparado ao cristalino. Já os aquíferos fissurados quartzíticos possuem hidrogeologia favorável em relação aos outros, sendo indicado inclusive para exploração da água subterrânea para uso consuntivo. Os granulares, apesar de serem bons produtores de água por serem muito porosos, tem seu uso bastante restrito para este fim na região, por representar apenas 4% da área da bacia, como pode ser visto na Figura 6 (IGAM, 2008).

Figura 6 - Hidrogeologia da bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).



4.3 Aspectos socioeconômicos

4.3.1 População

A bacia do rio Manhuaçu conta com 26 municípios, somando um total de aproximadamente 300 mil pessoas, que vivem nas respectivas áreas pertencentes a DO6, segundo o senso do IBGE de 2007, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – População da DO6. (Fonte IBGE, 2007).

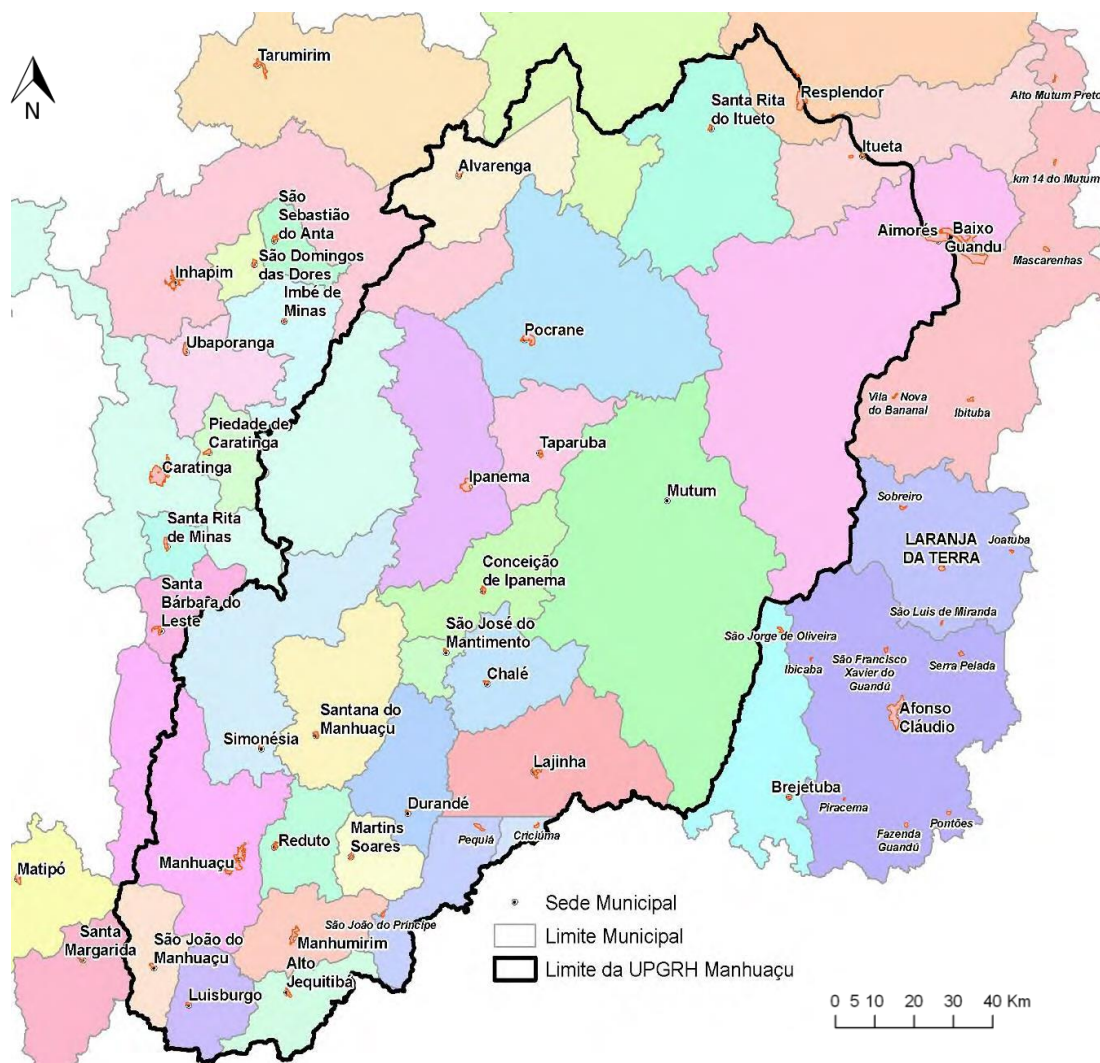
Município	Sede na DO6	% da área na DO6	População na DO6	População Total
Aimorés	Sim	88,34	23.628	24.232
Alto Jequitibá	Sim	100,00	7.976	7.976
Alvarenga	Sim	95,96	4.464	4.558
Caratinga	Não	39,22	5.411	81.731
Chalé	Sim	100,00	5.465	5.465

(Continuação)

Município	Sede na DO6	% da área na DO6	População na DO6	População Total
Conceição de Ipanema	Sim	100,00	4.396	4.396
Conselheiro Pena	Não	5,00	623	21.793
Durandé	Sim	100,00	6.932	6.932
Inhapim	Não	19,80	2.041	24.289
Ipanema	Sim	100,00	17.128	17.128
Itueta	Sim	35,96	4.038	5.830
Lajinha	Sim	92,58	16.275	17.580
Luisburgo	Sim	100,00	6.276	6.276
Manhuaçu	Sim	68,76	69.802	74.297
Manhumirim	Sim	100,00	20.209	20.209
Martins Soares	Sim	100,00	6.338	6.338
Mutum	Sim	100,00	26.331	26.331
Pocrane	Sim	100,00	8.769	8.769
Reduto	Sim	100,00	6.344	6.344
Resplendor	Sim	10,00	11.715	17.024
Santa Rita do Itueto	Sim	100,00	5.652	5.652
Santana do Manhuaçu	Sim	100,00	8.185	8.185
São João do Manhuaçu	Sim	100,00	9.394	9.394
São José do Mantimento	Sim	100,00	2.472	2.472
Simonésia	Sim	100,00	17.257	17.257
Taparuba	Sim	100,00	3.243	3.243
Total	-		300.364	433.701

Percebe-se que a maior parte dos municípios inseridos na DO6 são de pequeno porte, com população menor que 20 mil pessoas. Cerca de 39% da população total da bacia do rio Manhuaçu é rural, representando 16,3% de toda população rural da bacia do rio Doce (IBGE, 2007).

Figura 7 - Limite dos municípios da DO6 e suas sedes. (Fonte IGAM, 2008).

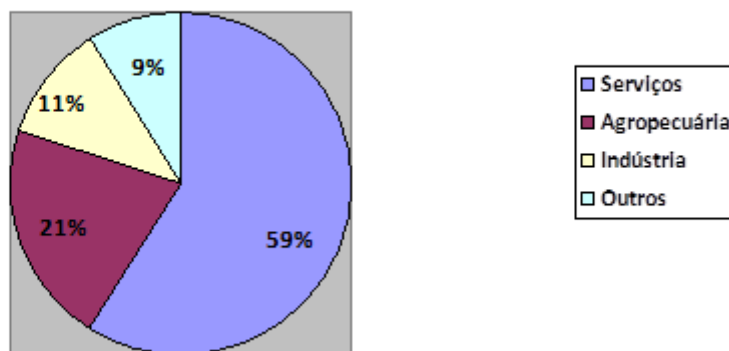


O crescimento da população urbana vem sendo maior que o da população rural, o que indica a ocorrência de êxodo rural na região. Na Figura 7 pode-se ver os limites dos municípios da bacia.

4.3.2 PIB

O PIB da bacia do rio Manhuaçu revela que a principal atividade econômica da região é o setor de serviços, contando com uma parcela de 59% do total, seguida pelo setor agropecuário que representa 21% da produção econômica anual da região, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Divisão do PIB da DO6 por setor. (Fonte: IGAM, 2008).



Os municípios da bacia do rio Manhuaçu apresentam uma taxa de crescimento abaixo da média da bacia do rio Doce, tanto para população rural quanto para urbana.

Segundo o IBGE, a bacia DO6 contava com uma área plantada de 104.664 hectares em 2006, sendo 65% desta área destinada a agropecuária. O destaque da produção agrária da região é do café, setor que teve um crescimento de 169% no período de 2000 – 2006. Outros produtos como milho e cana de açúcar também são cultivados em menores proporções, e o extrativismo se resume ao carvão vegetal e madeira, em sua maior parte para indústria de celulose e papel (IGAM,2008).

4.3.3 Saneamento

Neste tópico será abordado o abastecimento de água, resíduos sólidos e esgotamento sanitário.

Segundo o IBGE, em 2007, 93,1% da população urbana contava com o abastecimento de água, sendo este serviço prestado pelas prefeituras, SAAE's e COPASA. Os dados para as regiões rurais não são mencionados.

Cerca de 79,2% do esgoto sanitário produzido na bacia é coletado, o que corresponde a 5.963.085 m³/ano. Destes, somente 72.985 m³ são tratados, que corresponde a pouco mais de 1% do esgoto produzido. Esta questão reflete um dos maiores problemas de poluição dos recursos hídricos tanto da bacia DO6 como da bacia do rio Doce (IGAM, 2008).

Segundo o IGAM, a UPGRH DO6 produziu um volume total de 146,7 ton/dia de resíduos sólidos em 2008, os quais somente 19,6 ton/dia tem destinação adequada,

representando somente 13,4% do produzido nesta região. Esta bacia possui 17 lixões, 5 aterros controlados, nas cidades de Manhuaçu, Luisburgo, Lajinha, Manhumirim e São João do Manhuaçu, e apenas um aterro sanitário na cidade de Mutum.

Figura 9 - Esgoto doméstico na DO6 em Manhuaçu, novembro de 2016.



Um reflexo da precariedade nos serviços de saneamento da região é o alto índice de mortalidade infantil, até um ano de idade. A Tabela 4 mostra os dados de expectativa de vida, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Pelo censo de 2010 do IBGE, todos os municípios da bacia do rio Manhuaçu apresentaram índice abaixo dos 21,64 óbitos por 1.000 nascimentos da média nacional, apresentando uma melhora considerável se comparável aos anos anteriores. A expectativa de vida na região aumentou ao longo dos anos, estando a maioria dos municípios dentro da média nacional de 2010 de 73,48.

Tabela 4 - Indicadores de vida e doença nos municípios da UPGRH DO6. (Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil e GUIMARÃES, 2010).

Município	Esperança de vida ao nascer (anos)			Mortalidade até 1 ano de idade (por mil)		Esquistossomose (n° de casos em 2010)
	1991	2000	2010	2000	2010	
Aimorés	65,73	71,99	73,58	23,0	17,6	14
Alto Jequitibá	65,67	70,97	72,21	25,8	20,0	0
Alvarenga	63,92	67,04	72,85	38,4	18,8	25
Caratinga	66,26	70,07	75,16	28,5	15,1	9
Chalé	65,67	70,97	72,21	25,8	20,0	12
Conceição de Ipanema	63,92	70,0	74,51	28,7	16,1	15
Conselheiro Pena	64,84	70,93	75,24	25,9	15,0	19
Durandé	64,55	69,98	75,54	28,7	14,5	9
Inhapim	67,72	71,38	74,72	24,7	15,8	16
Ipanema	64,81	70,0	75,87	28,7	14,0	12
Itueta	63,92	69,48	74,51	30,3	16,1	15
Lajinha	65,65	67,71	73,60	36,1	17,6	20
Luisburgo	62,25	67,89	73,53	35,4	17,7	6
Manhuaçu	67,38	73,36	75,35	19,4	14,8	13
Manhumirim	65,67	69,98	75,74	29,7	14,2	3
Martins Soares	68,20	69,68	73,53	29,7	17,7	7
Mutum	63,92	70,00	74,30	28,7	16,4	10
Pocrane	66,87	69,48	72,91	30,3	18,8	14
Reduto	63,96	69,68	73,08	29,7	18,5	6
Resplendor	67,57	70,00	74,99	28,7	15,4	14
Santa Rita do Itueto	63,92	70,00	71,76	28,7	20,8	17
Santana do Manhuaçu	61,59	67,53	73,53	36,7	17,7	37
São João do Manhuaçu	64,59	69,98	75,16	28,7	15,1	25
São José do Mantimento	65,67	68,42	74,36	33,7	16,3	31
Simonésia	64,32	68,19	74,36	34,4	16,3	9
Taparuba	63,92	70,00	72,91	28,7	18,8	0

Percebe-se pela Tabela 4 que os casos de esquistossomose reforçam a necessidade da melhoria nos sistemas de saneamento básico da região. Dos municípios da DO6, Santana do Manhuaçu, São João do Manhuaçu e São José do Mantimento apresentaram uma quantidade consideravelmente maior de casos do que nos demais municípios. Minas Gerais é o estado com maior área endêmica de esquistossomose no país, respondendo por 57% dos casos da doença em 2008, e 69% dos municípios da bacia do rio Manhuaçu apresentaram casos desta doença (GUIMARÃES, 2010).

4.3.4 Recursos hídricos na UPGRH DO6

As informações referentes a este tópico foram obtidas na estação fluviométrica da ANA, localizada próximo à foz do rio Manhuaçu para o rio Doce, nas proximidades do município de Aimorés. A Tabela 5 mostra dados de vazões do rio Manhuaçu.

O rio Manhuaçu apresenta uma vazão média de longo termo (Q_{MLT}) da ordem de 98,70 m³/s, e as vazões Q_{95} e $Q_{7,10}$ representam, respectivamente, 32,8% e 23,3% da vazão Q_{MLT} .

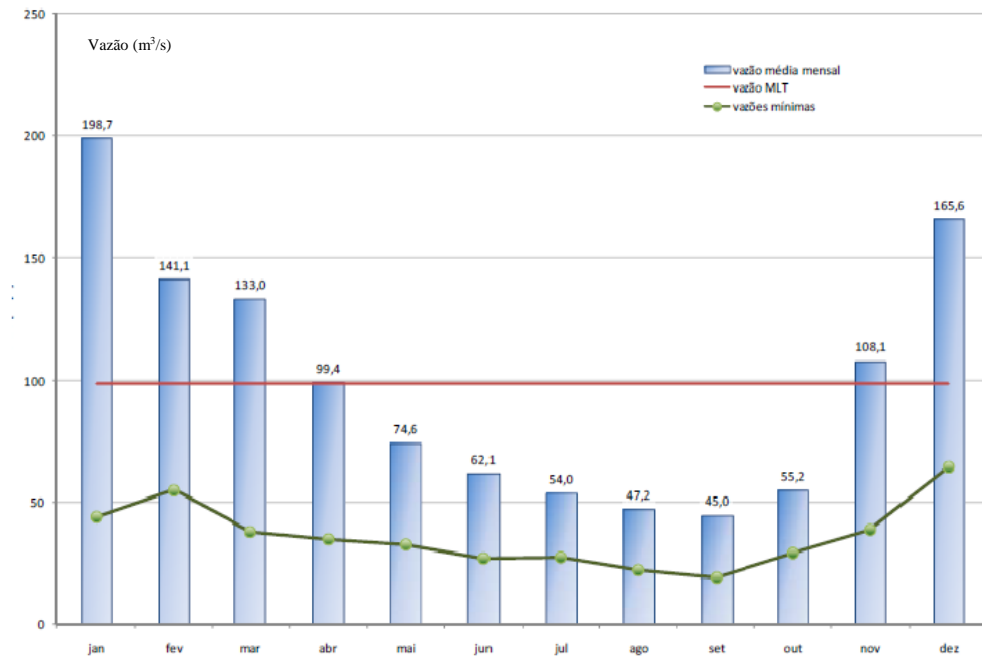
Tabela 5 - Disponibilidade hídrica na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: IGAM, 2008).

Sub bacia	Vazão Específica (L/s/km ²)			Vazão (m ³ /s)		
	q_{MLT}	q_{95}	$q_{7,10}$	Q_{MLT}	Q_{95}	$Q_{7,10}$
Rio Manhuaçu	11,20	3,68	2,61	98,70	32,50	23,10
Incremental DO6	11,90	4,22	3,13	-	-	-

Há uma variação da ordem de 400% entre a Q_{MLT} e a $Q_{7,10}$, o que indica grandes oscilações quanto a disponibilidade de água e a possível ocorrência de períodos de seca, o que pode causar conflitos na região (IGAM, 2008).

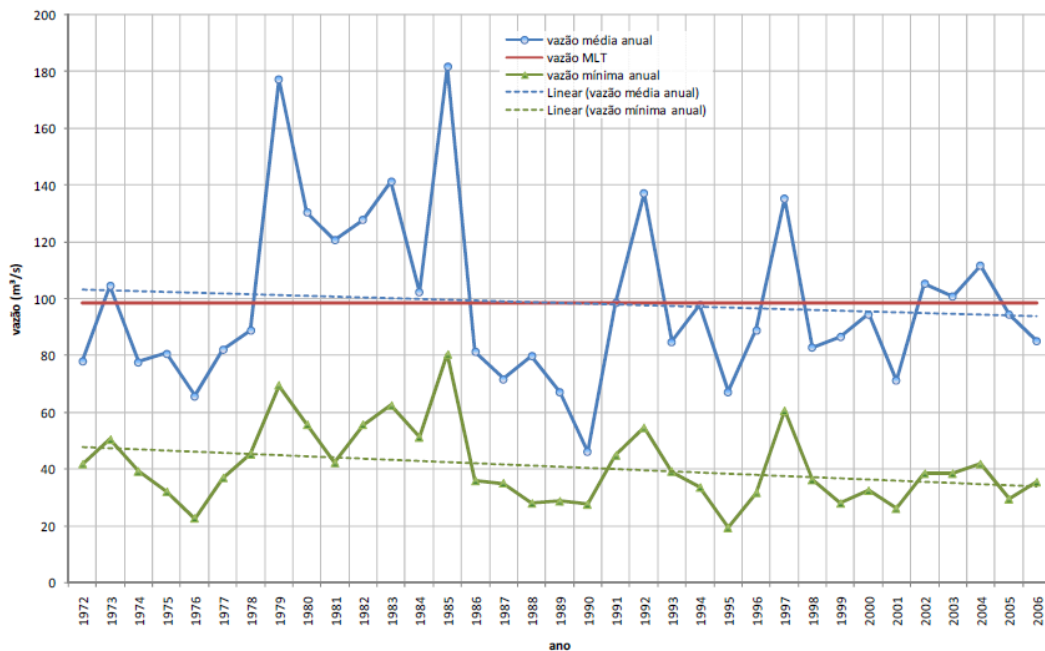
As vazões observadas mostram a diferença sazonal entre o verão e inverno, mostrando pico de vazão em janeiro, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Vazões médias mensais da UPRGH DO6. (Fonte: IGAM, 2008).



Na Figura 11 são apresentadas as vazões entre os anos 1972 e 2006, e é possível verificar a variação ao longo dos anos com uma pequena tendência de diminuição da disponibilidade.

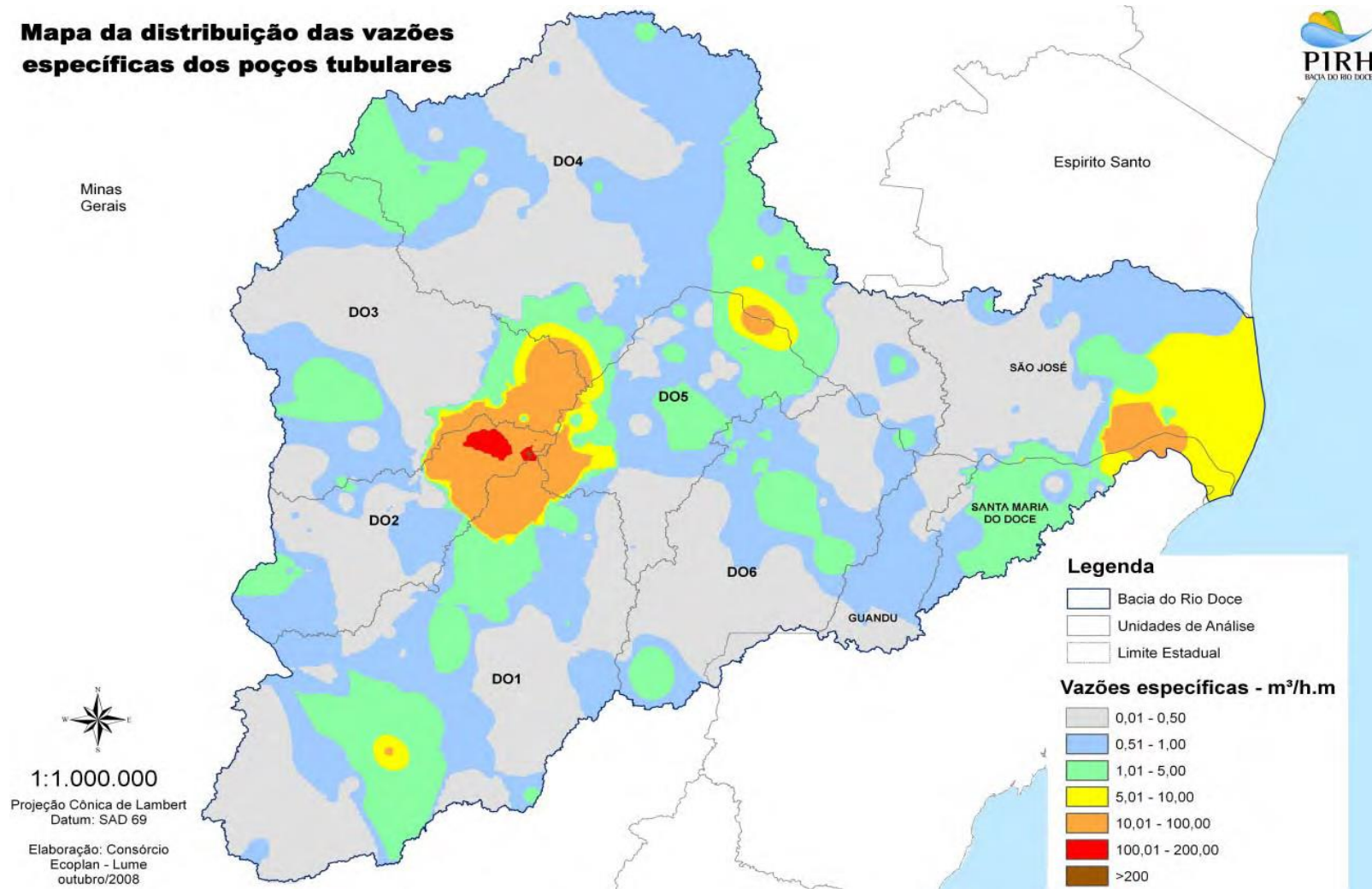
Figura 11 - Vazões médias anuais. (Fonte: IGAM, 2008).



Com relação à disponibilidade hídrica subterrânea, pode-se verificar na Figura 12 que as áreas com maior vazão específica se localizam na região de Mutum, Taparuba, São João do Manhuaçu e Luisburgo.

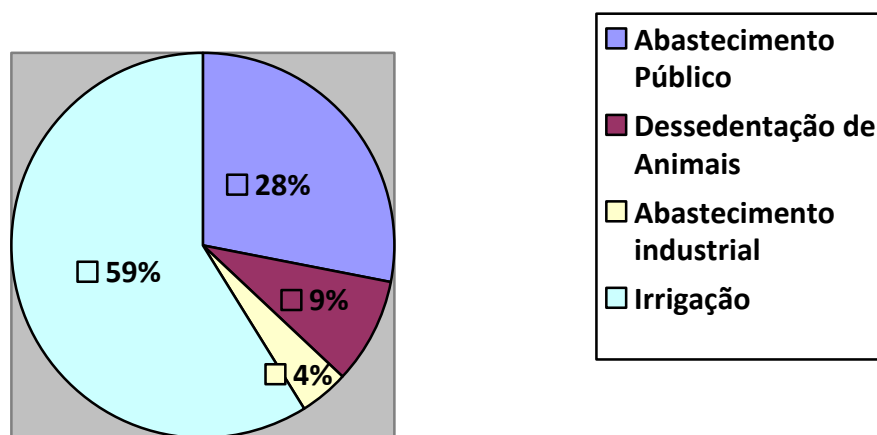
Figura 12 - Disponibilidade hídrica subterrânea na bacia rio Doce. (Fonte: PIRH, 2008).

Mapa da distribuição das vazões específicas dos poços tubulares



A distribuição do uso da água superficial na UPGRH DO6 apresenta sua maior parcela destinada a irrigação, correspondendo a 59% do total outorgado, o que confirma a grande vocação agrícola desta bacia. O abastecimento humano corresponde a 28%, sendo o abastecimento industrial e dessedentação de animais pouco dispendiosa neste quesito para a região, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Composição percentual do uso de água superficial e subterrânea na UPGRH DO6. (Fonte: IGAM, 2008).



5. Revisão bibliográfica

Com base em vários trabalhos realizados no rio Doce, pode-se ter uma visão de que, em termos de água, a maior parte de seus afluentes está fortemente poluída por bactérias fecais *E. coli*. Isto se deve principalmente à ausência de tratamento do esgoto doméstico em várias cidades e, mesmo em alguns casos, a ausência de sistema de esgoto em zonas rurais, que abrange grande parte do percurso desta bacia. Em muitos casos, foram detectadas poluições químicas como mercúrio (Hg) e arsênio (As), entre outros contaminantes tóxicos para biota (ROESER et al., 2011).

A composição dos sedimentos, de uma maneira geral, reflete a litologia da área. A fração argilosa permite definir a contaminação por metais pesados adsorvidos nas partículas de argila, como chumbo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), entre outros (ROESER et al., 2011).

Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são basicamente indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos e matéria orgânica (ANA, 2009). A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não pondera alguns parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (exemplo: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2009).

Foram analisadas as legislações referentes à gestão de recursos hídricos e à gestão ambiental, principalmente a lei 9433/97 de 8 de janeiro de 1997, que estabelece diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A definição da qualidade da água se dá a partir do enquadramento desta, estabelecendo-se critérios pré-definidos conforme Zagatto et al. (1993); Von Sperling, (2014). Já o enquadramento de corpos d' água superficial está previsto nas Resoluções CONAMA 357/05 e 430/11.

As características físicas, químicas e biológicas das águas naturais decorrem de uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e na bacia hidrográfica, como consequência das capacidades de dissolução de uma ampla gama de materiais e de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (LIBÂNIO, 2008).

O IQA foi desenvolvido pela U. S. National Sanitation Foundation (MOREIRA e RIBEIRO, 2001; FLORES, 2002), que selecionou parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e atribuiu critérios para essa avaliação.

5.1 Parâmetros do Índice de Qualidade da Água (Agência Nacional das Águas – ANA)

O IQA brasileiro, de acordo com a ANA - Agência Nacional das Águas, pode assumir valores e relevância distintos de acordo com cada região e seu respectivo uso e ocupação do solo, conforme a Tabela 6 (ANA, 2009; CETESB, 2015).

Tabela 6 - Parâmetros do IQA. (Fonte: ANA, 2009).

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
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

Segue a descrição dos parâmetros do IQA, conforme a ANA.

5.1.1 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é essencial para a preservação da vida aquática, já que vários organismos, tal como os peixes, usam o oxigênio para realizar a respiração. As águas poluídas por esgotamentos se caracterizam com baixos níveis de concentração de oxigênio dissolvido, devido seu consumo no processo de decomposição da matéria orgânica. Já as águas consideradas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido superiores a 5mg/L, exceto se houverem condições naturais que causem depleção nos valores deste parâmetro (ANA, 2009).

As águas oriundas do processo de eutrofização, ricas em nutrientes, podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, situação conhecida como supersaturação. O lagos e represas são ambientes onde isso costuma ocorrer, já que o excessivo crescimento das algas aumenta a produção de oxigênio durante o dia devido a

fotossíntese. Por outro lado, durante a noite, quando não ocorre a fotossíntese, a respiração dos organismos faz com que as concentrações de oxigênio diminuam devido ao seu consumo pelas mesmas, podendo causar mortandades de peixes (ANA, 2009).

Além da fotossíntese, o oxigênio também é fixado nas águas através de processos físicos, que dependem das características hidráulicas dos corpos d'água, como a velocidade da água e queda d'água (ANA, 2009).

O oxigênio é utilizado como acceptor final de elétrons nos processos respiratórios dos animais aquáticos aeróbios. Assim, o oxigênio dissolvido deve ser repostado no intuito de manter o equilíbrio entre a taxa de consumo pela respiração, além da parcela consumida pela oxidação da matéria orgânica. O surgimento de zonas anaeróbias pode gerar desprendimentos de mau odor devido a processos bioquímicos anaeróbios (VON SPERLING, 2014).

5.1.2. Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são o grupo o qual pertencente as *Escherichia coli* (*E. coli*), um gênero de bactéria que ocorre no trato intestinal de animais de sangue quente. Essas bactérias são indicadoras de poluição por esgoto doméstico, pois cada pessoa evacua, em média, um trilhão delas diariamente. Elas não são patogênicas (não causam doenças), mas sua presença em grande número é um indicador da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como disenteria bacilar, febre tifoide e cólera. Devido a esta importância, o IGAM passou a adotar *E. coli* como um parâmetro para o cálculo do IQA (ANA, 2009; BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA, 2005; LEMOS, 2015).

5.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é o índice que mede a quantidade de prótons dissolvidos na água, e indica o grau de acidez ou basicidade da mesma, o que afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA 357/2005 estabelece que para a proteção da vida aquática o valor do pH deve estar na faixa entre 6 e 9 (ANA, 2009).

Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados (ANA, 2009).

5.1.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20})

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Este parâmetro fornece assim uma medida indireta da matéria orgânica presente na água. A DBO_{5,20} é o quanto de oxigênio que foi consumido durante 5 dias a uma temperatura de 20°C (VON SPERLING, 2014).

Valores elevados de DBO_{5,20} geralmente indicam o lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos, no corpo d'água. Valores elevados de DBO causam depleção de oxigênio dissolvido na água, o que provoca mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos (ANA, 2009).

5.1.5 Temperatura da água

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos da água, como o oxigênio dissolvido, tensão superficial e a viscosidade. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução. Os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água (ANA, 2009).

A temperatura dos corpos d'água sofre variação pela transferência de calor por radiação, condução e convecção com suas interfaces, como a superfície, atmosfera, solo entre outros. Outros efeitos da variação de temperatura na água são a mudança nas taxas de reações físicas, químicas e biológicas e a variação da solubilidade de gases como o oxigênio e gases que podem conferir mal cheiro, como o H₂S (VON SPERLING, 2014).

5.1.6 Nitrogênio total e nitrato

Nos corpos d'água o nitrogênio pode ocorrer nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Os nitratos são tóxicos aos seres humanos, e em altas concentrações causam uma doença chamada metahemoglobinemia infantil ou síndrome

do bebê azul, que é letal para crianças. Pelo fato dos compostos de nitrogênio serem nutrientes nos processos biológicos, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos d'água, junto a outros nutrientes, tais como o fósforo, causa um crescimento excessivo das algas, processo conhecido como eutrofização, o que pode prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática (ANA, 2009; VON SPERLING, 2014).

As fontes de nitrogênio para os corpos d'água são variadas, sendo uma das principais o lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais. Em áreas agrícolas, o escoamento da água das chuvas em solos que receberam fertilizantes também é uma fonte de nitrogênio, assim como a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas. Também ocorre a fixação biológica do nitrogênio atmosférico pelas algas e bactérias. Além disso, outros processos, como a deposição atmosférica pelas águas das chuvas, também causam aporte de nitrogênio aos corpos d'água (ANA, 2009).

5.1.7 Fósforo total e fosfato

Do mesmo modo que o nitrogênio, o fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos, e seu excesso pode causar a eutrofização das águas. O fosfato normalmente é o elemento limitante do crescimento de algas em corpos d'água, indicando assim a biomassa de algas presente no mesmo. Quando esta biomassa morre, o oxigênio presente é consumido na deterioração da mesma, causando depleção do OD e caracterizando assim o processo de eutrofização (BAIRD, 2002).

Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes super-fosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros (ANA, 2009).

5.1.8 Turbidez

A turbidez indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão como silte, areia, argila, algas, detritos, entre outros (ANA, 2009).

A turbidez pode ser devido à presença de partículas de rochas, argila, silte, algas e matéria orgânica em suspensão e mesmo por erosão de leitos fluviais. Esta redução da penetração da luz afeta diretamente a taxa de fotossíntese das algas. Atividades de mineração, assim como o lançamento de esgotos e de efluentes industriais, também são fontes importantes que causam uma elevação da turbidez das águas. (VON SPERLING, 2014).

O aumento da turbidez faz com que uma quantidade maior de produtos químicos, como coagulantes, sejam utilizados nas estações de tratamento de águas, aumentando os custos de tratamento. Além disso, a alta turbidez também afeta o uso industrial e as atividades de recreação (ANA, 2005).

5.1.9. Sólidos totais e sólidos totais dissolvidos - TDS

O sólido total é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura entre 103 e 105°C. O TDS por sua vez é medido diretamente com auxílio da sonda multiparâmetros.

Os sólidos chegam aos corpos d'água através principalmente de processos erosivos e lançamento de resíduos sólidos e efluentes. Embora este parâmetro esteja associado à turbidez, eles não são equivalentes (BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

Quando os resíduos sólidos se depositam nos leitos dos corpos d'água, pode ocorrer assoreamento, o que gera problemas para a navegação e pode aumentar o risco de enchentes. Além disso, o depósito de resíduos sólidos no leito dos rios pode causar danos à vida aquática, pois ao se depositarem eles destroem os organismos que vivem nos sedimentos e servem de alimento para outros organismos, além de danificar os locais de desova de peixes (ANA, 2009).

5.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica nos corpos d'água é determinada principalmente pela presença de íons, pois estes têm a capacidade de conduzir corrente elétrica entre eles quando em solução aquosa. Em águas naturais não poluídas, são encontrados valores médios entre 10 e 100µS/cm. Já ambientes aquáticos poluídos, chegam a valores de até

1000 μ S/cm. Este parâmetro é considerado um bom indicador da presença de despejo de efluentes líquidos (BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

5.3 Potencial redox (E_H)

Várias reações de importância na natureza envolvem troca de prótons e elétrons, sendo assim dependem do pH e E_H , parâmetros que medem estes elementos. Dependendo dos valores destes parâmetros, elementos como ferro e manganês, dentre outros, tem sua mobilidade alterada drasticamente, o que pode causar problemas e, em alguns casos, até mesmo toxicidade. Esta medida é largamente utilizada para fazer previsões acerca da quantidade de elétrons disponíveis no meio aquoso. No entanto, deve-se tomar algumas cautelas por se tratarem de sistemas aquosos complexos (JARDIM, 2014).

5.4 Cloreto

Os cloretos são provenientes de sais que, quando dissolvidos em água, se dissociam em seus respectivos íons. Podem ser provenientes da dissolução de minerais, efluentes domésticos e industriais e até mesmo de insumos agrícolas e áreas irrigadas. Quando presente em concentrações acima das de potabilidade, podem conferir sabor salgado e propriedades laxativas (VON SPERLING, 2014; BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

5.5 Vazão

O conhecimento sobre as vazões máximas, médias e mínimas de uma bacia é de extrema importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos além, de outras aplicações como adequação dos processos de outorga e de uso da água para obras hidráulicas (BARBOSA et al., 2005).

5.6 Elementos traço

Os elementos traço são considerados como todos elementos que ocorrem na média em quantidades menores que 1000 ppm (0,1%) na crosta terrestre. Podem ser expressos em ppm (parte por milhão), ppb (parte por bilhão) e até ppt (parte por trilhão), que seguem respectivamente as seguintes ordens de grandeza, 10^{-6} , 10^{-9} e 10^{-12} e representam a fração mássica de mg/kg, μ g/kg e pg/kg (LICHT, 2001).

Para análises realizadas em água, substituímos nas frações acima o quilograma pelo litro, e os resultados serão dados em concentração. Assim, mg/l equivale a ppm, por exemplo.

Os elementos podem ocorrer naturalmente, provenientes da litologia da região, e podem também ocorrer devido a ações antrópicas com impactos ambientais, como por exemplo lançamento de efluentes, trocas gasosas da poluição atmosférica, despejo de resíduos sólidos e atividades industriais e de obtenção de matéria prima como a mineração.

Os metais pesados podem se depositar nos sedimentos. Porém, devido a suas concentrações baixas, este transporte tende a ser muito demorado, podendo ocorrer também por adsorção nas superfícies das partículas minerais, complexação com as substâncias húmicas de partículas orgânicas ou por reações de precipitação. Estes elementos, por serem cátions de metais, tendem a sofrer algum destes tipos de deposição, preferencialmente a ficarem dissolvidos na solução (BAIRD,2002).

No presente trabalho foi utilizada a classificação de Goldsmith, que agrupa os elementos químicos em suas principais características geoquímicas. Siderófilos são os elementos de transição externa e interna com alta densidade, que possuem grande afinidade com o elemento ferro, agregando-se também ao cobalto, níquel e platina. Os calcófilos são aqueles encontrados no manto terrestre, como cobre, enxofre e selênio. Possuem mais afinidade com as fases sulfetadas do que com o oxigênio, formando compostos insolúveis. Os elementos litófilos são mais reativos ao bloco de configuração s e f da tabela periódica, apresentando afinidade maior aos silicatos, sendo encontrados na maior parte na crosta terrestre. Já os atmófilos são em sua maioria encontrados no estado gasoso, sendo encontrados na atmosfera e hidrosfera.

Os principais elementos traços abordados por este trabalho serão os seguintes.

5.6.1 Lítio

O lítio tem o símbolo Li e número atômico 3. É um metal alcalino e suas aplicações vão de uso em baterias até remédios para tratamento psicológico. O nível normal deste metal alcalino no sangue humano é em torno de 3,5 mg a 8 mg por litro de

sangue. Dosagens acima de 10 mg causam envenenamento, chegando a ser fatal quando atinge 20 mg/l (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.2 Sódio

Com o número atômico 11 e símbolo Na, o sódio é classificado como um metal alcalino, e suas aplicações variam desde a culinária como componente do sal de cozinha, até produtos de limpeza e agente refrigerador em usinas nucleares. A forma mais popular do sódio é do sal de cozinha, e sua importância histórica é tão grande que mesmo palavras como '*salario*' derivam do latim pois na época do império Romano, muitos soldados eram pagos por seus serviços com sal.

O sódio em nosso organismo possui uma função vital de eletrólito em transições de impulsos nervosos, equilíbrio osmótico (regulação dos fluidos corporais). No entanto, o excesso causa aumento na pressão arterial, o que é extremamente prejudicial para o bem-estar humano. A OMS recomenda ingestões diárias não maiores que 1,5g de sal de cozinha por pessoa.

5.6.3 Magnésio

O magnésio tem número atômico 12 e símbolo químico Mg. Este elemento é essencial para quase todos organismos vivos, e desempenha um papel importante para fotossíntese, além de possuir aplicações médicas e em ligas metálicas de carros e aviões.

No corpo humano é o quarto maior elemento traço presente, sendo componente importante em toda estrutura óssea e requerido em mais de 300 reações bioquímicas, entre elas a liberação de energia de alimentos, síntese proteica e funções cardiovasculares. A ingestão mínima necessária de Mg é de 0,2g por dia por pessoa segundo a OMS. (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.4 Potássio

O número atômico do potássio é 19, e seu símbolo K. É um metal alcalino com grande importância no corpo humano, controlando sinais no sistema nervoso, mas sendo também mortal em doses erradas. É um componente majoritário em armas de fogo. É também um fertilizante essencial e largamente usado desde os tempos antigos, desempenhando um papel importante no crescimento populacional.

No corpo humano é vital, pois é um eletrólito responsável pela transmissão de impulsos entre células, regulação osmótica e funcionamento dos rins. Dosagens excessivas causam desequilíbrio no sistema nervoso central e alteram o funcionamento das células corporais, em especial as cardíacas. A injeção de cloreto de potássio é um método de eutanásia utilizado por algumas equipes médicas.

5.6.5 Cálcio

O cálcio possui o número atômico 20 e o símbolo Ca. É o quinto elemento mais abundante na crosta terrestre, e é essencial para quase toda a vida na terra. A quantidade diária recomendada em uma pessoa saudável é em torno de 1g por dia. Sua forma mais comum é em rochas calcárias ou como Cal ou óxido de cálcio e é usado em indústria de cimento, tratamento de água ou regulador de pH, entre outras finalidades (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.6 Vanádio

O vanádio é um metal de transição de número atômico 23 e símbolo V. É usado industrialmente como aditivo em aços por ser resistente contra corrosão, entre outros abrasivos. Apesar de ser um elemento essencial para o corpo humano, 40 µg por dia é o suficiente para suprir a demanda do organismo.

5.6.7 Cromo

O cromo é um metal de transição de número atômico 24 e símbolo Cr, famoso por seus compostos coloridos e vários pigmentos, inclusive seu nome é derivado da palavra grega para cor. Para o corpo humano este é um elemento essencial, com necessidades diárias em torno de 25 a 35µg, porém, é tóxico em maiores quantidades. Em seu estado de oxidação +6, o cromo é altamente oxidante e cancerígeno (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.8 Ferro

O ferro é um metal de transição de número atômico 26 e símbolo Fe, que faz parte da composição desde o sangue a aços inoxidáveis. É o elemento mais abundante na crosta terrestre. É responsável pelo campo magnético da Terra e nossa proteção contra os raios cósmicos.

A estrutura cristalina cúbica de corpo centrado, além de suas propriedades químicas e elétricas, o tornam extremamente importante não só para composição da vida, mas da Terra como conhecemos, sem o qual não teríamos proteção para nossa atmosfera contra os ventos solares. Além disso, as ligas metálicas do ferro, e o próprio aço possuem propriedades de dureza, ductibilidade, maleabilidade e outras que o tornam infinitamente versátil para o uso humano como ferramenta e material.

A maior mina de ferro do mundo se encontra no Brasil e é conhecida como mina de Carajás, e apesar de causar um enorme impacto ambiental, sua exploração é imprescindível para o desenvolvimento humano. A importância biológica do Fe é em nossa corrente sanguínea, compondo a hemoglobina, uma proteína que transporta oxigênio por todo corpo.

5.6.9 Cobalto

O cobalto é um metal de transição de número atômico 27 e símbolo Co, e sua maior aplicação industrial é como catalisador na produção de combustíveis derivados do petróleo. Seu isótopo Co-60 é radioativo, porém sua forma mais comum, Co-58.9, além de não radioativa, é essencial na composição do sangue, vitaminas B12 e funcionamento do cérebro (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.10 Níquel

O níquel é um metal de transição de número atômico 28 e símbolo Ni. É um dos metais mais reciclados no mundo e usado em diversos países na fabricação de moedas. Seu nome deriva do alemão '*kupfernickel*', que significa cobre do diabo, pois por muitos anos tentaram em vão extrair cobre de minérios de níquel.

A ingestão diária necessária por um ser humano é cerca de 150 µg, quantidade suprida com uma simples xícara de chá. Todavia, este elemento causa danos à saúde humana quando inspirado na forma de poeira de níquel ou mesmo o níquel-tetracarbonilo, um gás letal, porém o risco só atinge os trabalhadores de jazidas deste mineral (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.11 Cobre

O cobre é um metal de transição de número atômico 29 e símbolo Cu, e é um dos metais mais importantes na história, com indícios de ser minerado cerca de 10 mil

anos antes de Cristo. Ele faz parte do mesmo grupo do ouro e da prata, compartilhando com esses outros dois metais algumas características como ductibilidade e maleabilidade, sendo o elemento com terceira melhor condutividade elétrica, perdendo só para prata e ouro. É amplamente usado em fios e indústrias elétricas e eletrônicas.

O cobre é essencial para sobrevivência de todos organismos vivos. No corpo humano faz parte de enzimas responsáveis por várias atividades biológicas, entre elas a transformação de pigmentação da pele, melanina. Sua ingestão diária em uma pessoa saudável é em torno de 1,2 mg (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.12 Zinco

O zinco é um metal de transição de número atômico 30 e símbolo Zn, e é um elemento traço essencial para humanos, animais e plantas, constituindo mais de 200 tipos de enzima e representa cerca de 4g do peso de um humano saudável.

No corpo humano, o zinco desempenha funções de crescimento, digestão, sistema imunológico e fertilidade. Sua falta afeta a produção de esperma e confere mal funcionamento nos sistemas citados acima. O óxido de zinco, junto a outros compostos, é amplamente utilizado para curar doenças de pele como queimaduras e eczemas. É também usado na indústria de ligas metálicas e aço galvanizado (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.13 Arsênio

O arsênio é um metal de número atômico 33 e símbolo As. Conhecido como veneno por muitos anos, encontrou lugar na indústria tecnológica do século XXI como dopante de materiais semicondutores. Acredita-se que Napoleão Bonaparte morreu devido a intoxicação por arsênio que era usado em uma tinta comum na época, usada em um auto-retrato. Ele não foi o único, devido à dificuldade de detecção de 100mg, fatais para o ser humano. Exposição a doses menores causam sintomas comum a várias doenças como diarreia, vômito e desidratação. Chegou a ser conhecido como pó da herança, devido a seu uso com o intuito de envenenar parentes ricos, sem falar em monarcas e até mesmo papas (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.14 Estrôncio

O estrôncio é um metal alcalino terroso de número atômico 38 e símbolo Sr. Por ser da mesma família do cálcio, apresenta certa similaridade química com ele. Se seu isótopo Sr-90 for absorvido pelos ossos, pode causar sérios problemas de saúde, entre eles câncer.

5.6.15 Cádmio

O cádmio é um metal de transição de número atômico 48. É tão tóxico para o corpo humano que é listado como um dos 10 poluentes mais perigosos pela *United Nations Environmental Programme*. O cádmio foi muito usado na indústria na produção de baterias recarregáveis e em alguns pigmentos, porém devido a sua toxicidade passou a ser evitado. Outra fonte de exposição a este metal é através do fumo de tabaco (PARSONS e DIXON, 2013).

5.6.16 Chumbo

O chumbo é o elemento de número atômico 82 e símbolo Pb, e apesar de ser usado pela humanidade a milhares de anos, por ser considerado tóxico, e seu uso vem sendo substituído. No início do século XX foi muito utilizado como aditivo de gasolina, o que levou ao espalhamento de chumbo pelo mundo em níveis jamais vistos até então, mas em contrapartida sem este elemento não seria possível proteger as pessoas em exames de raio-X, entre várias outras aplicações médicas.

5.7 Sedimentos

Entende-se por sedimentos os materiais insolúveis que se depositam no fundo dos corpos de água ou estão suspensos nos mesmos. Os sedimentos constituem um fator muito importante do sistema aquático, por sua participação no equilíbrio dos poluentes solúveis/insolúveis e por sua maior permanência no corpo de água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas (AGUDO, 1987).

Geralmente, os sedimentos de interesse ambiental são aqueles que permanecem nas camadas superficiais e estão finamente divididos, a fração a alguns centímetros abaixo da camada superficial basta para atender à maioria dos estudos (AGUDO, 1987).

6. Metodologia

6.1 Pontos de coleta

Foram selecionados 30 pontos ao longo do rio Manhuaçu e seus principais afluentes, sendo eles pela margem esquerda o córrego Bom Jesus, rio Manhuaçuinho, rio São Mateus, ribeirão Santo Apolinário, ribeirão Suíço, ribeirão Jacutinga, ribeirão Padre Ângelo e rio Itueto. Pela margem direita o rio São Luiz, ribeirão Jequitibá, rio Japu, rio José Pedro e rio São Manuel.

Elegeram-se pontos a montante e a jusante das principais comunidades e cujo acesso é viável para coleta e medição dos materiais e parâmetros. Os pontos foram selecionados e marcados com base nas estações de referência do IGAM, pelos mapas cartográficos do IBGE e pela ferramenta de posicionamento global Google Earth[®]. A identificação dos pontos utiliza coordenadas planas Universal Transversa de Mercator – UTM, e para encontrar os locais especificados utilizou-se um aparelho *Global Positioning System* – GPS da marca Garmin.

6.2 Amostragem

Para realização deste trabalho foram adquiridas amostras nos pontos pré-definidos ao longo da DO6, e os materiais coletados são água e sedimento em cada local.

6.2.1 Técnicas de coleta

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de água e sedimentos, sendo a primeira durante a estação seca e a última durante a estação chuvosa, ao longo da bacia do rio Manhuaçu. A amostragem na estação seca foi realizada no mês de março de 2016, que apesar dos dados históricos indicarem ser um período chuvoso, apresentou baixo índice de chuva durante o ano de 2016. A amostragem durante a estação chuvosa ocorreu em novembro de 2016.

Ao adotar essa forma de distribuição das amostragens, procura-se minimizar as interferências das diferentes épocas climáticas nos resultados das análises físico químicas em razão do incremento ou diminuição das vazões dos citados cursos d'água. Em contraposição, se as coletas fossem realizadas em uma única época, os resultados

seriam típicos para época das coletas. Nesse caso, as variações temporais não seriam detectadas podendo, nesse caso, apresentarem valores irreais (ROESER et al., 2011).

Os pontos de amostragem foram determinados ao longo da primeira campanha de coleta e definidos através de visita a área de estudo. As coordenadas destes pontos foram estabelecidas e em seguida marcadas no mapa da região, considerando a metodologia utilizada em pesquisas similares em outras sub bacias do rio Doce. (ROESER et al, 2011).

6.2.2 Águas

No laboratório, os frascos plásticos de 60 ml e 1.000 ml utilizados para coleta de água foram lavados com água de torneira (uma vez), água destilada (2 vezes) e água deionizada (1 vez), nesta ordem. A seguir, foram colocados para secar em estufa, bem como suas respectivas tampas. Depois de secos, foram cuidadosamente fechados, sendo abertos somente no momento da coleta. As amostras de água foram coletadas de acordo com a metodologia proposta por Agudo (1987). As coletas foram realizadas contra a corrente, fazendo-se ambiente três vezes com a água do rio. As amostras de água foram coletadas sempre antes da amostra de sedimento, para evitar excesso de sólidos em suspensão. A pessoa que coletou os materiais usou luvas para evitar contato direto com possíveis contaminações.

Dois tipos de amostradores foram utilizados, dependendo da facilidade de coleta da água. Nas áreas onde o acesso foi suspenso (caracterizado pela presença de ponte) foi utilizado o amostrador vertical tipo Limnus com capacidade de 2,5 L. Onde o acesso foi possível pela margem do ribeirão, utilizou-se frasco com capacidade de 2,0 L, acoplado a uma haste (GREENBERG, et al., 1992).

Foram coletadas para cada ponto três amostras de água:

- A primeira amostra foi coletada em frascos de 1000 ml para a determinação de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, resistividade, TDS (sólidos totais dissolvidos) e ORP , que foram realizados no campo.

- A segunda amostra foi coletada em frascos de 1000 ml para a determinação de teor de sulfatos e de cloretos, que foram realizados no laboratório.

- A terceira amostra sofreu, já no campo, o processo de filtração por bomba a vácuo e membranas de filtro de 0,45 μ m de porosidade - a fim de separar o material particulado dos elementos solúveis, em seguida foi acidificada com ácido nítrico concentrado (HNO₃ 65%) para evitar troca iônica e precipitação dos hidróxidos, em pH menor do que 2. Estas amostras foram acondicionadas em frascos de 30 ml para a determinação de metais principais e traços (GREENBERG et al. 1992).

As amostras de água e sedimento foram identificadas com as letras GSRM e o número do ponto de amostragem. Todo material coletado que foi usado para medições em laboratório foi encaminhado para armazenamento no LSA na UFOP.

6.2.3 Sedimentos

Os sacos plásticos utilizados para coleta de sedimento e solo não necessitaram de preparação prévia. O procedimento de coleta dos sedimentos variou de ponto para ponto, de acordo com as condições de acesso aos locais. Foram utilizados dois equipamentos. Para alguns pontos as coletas foram realizadas com o auxílio de um tubo de policloreto de vinila (PVC) à aproximadamente 1 metro da margem do rio, fazendo-se a perfuração com inclinação de 45°. Alguns pontos de amostragem foram definidos utilizando-se das pontes, assim as amostras foram coletadas utilizando-se uma draga tipo Birge-Ekman, equipamento apropriado para o procedimento. O material coletado foi acondicionado em saco plástico, lacrado e identificado.

6.3 Medições *in situ*

Algumas medições puderam ser feitas diretamente no local com auxílio de sondas multiparâmetros, turbidímetro e oxímetro. Estes aparelhos foram previamente limpos e calibrados, também se verificou a carga das baterias dos mesmos.

A Tabela 7 indica os parâmetros de medição *in situ* e o respectivo equipamento utilizado para medição.

Tabela 7 - Parâmetros de medição *in situ*.

Parâmetro	Unidade de medida	Equipamento de medição
Oxigênio dissolvido - OD	mg/L	Medidor multiparâmetro portátil Hq40d da marca Hach
Pressão atmosférica	hPa	Medidor multiparâmetro portátil Hq40d da marca Hach
Temperatura da Água	°C	Medidor multiparâmetro portátil Hq40d da marca Hach
Condutividade elétrica	mS/cm	Multiparâmetros portátil da marca Myron L. Company
Potencial redox - ORP	mV	Multiparâmetros portátil da marca Myron L. Company
Sólidos totais dissolvidos - TDS	mg/L	Ultrameter II, 6P
Potencial Hidrogeniônico - pH	-	Ultrameter II, 6P
Resistividade	MΩ.cm	Ultrameter II, 6P
Turbidez	NTU	Turbidímetro da marca DIGMED
Temperatura do ar	°C	Termômetro digital da marca Incoterm

6.3.1 Análises de água

No local da coleta, foram determinados os seguintes parâmetros: OD, temperatura, pH, condutividade elétrica, resistividade, TDS (sólidos totais dissolvidos), ORP e turbidez. Na determinação dos parâmetros Oxigênio Dissolvido e temperatura foi utilizado um oxímetro.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, resistividade, TDS (sólidos totais dissolvidos), ORP, turbidez foram determinados utilizando-se de um multiparâmetro da Myron L. Company, Ultrameter II, 6P.

Para a determinação da alcalinidade, foi utilizado o método titulométrico: foram pipetados 100mL das amostras em erlenmeyeres de 250mL, aos quais foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e 3 gotas de metil-orange. A solução foi titulada com ácido sulfúrico 0,01mol/L. O ponto de viragem ocorreu na mudança de cores: de transparente para vermelho-laranja fraco.

6.4 Análises no laboratório

Análises que demandam outros equipamentos e mais tempo não podem ser feitas no próprio local, necessitando assim de um laboratório especializado e estão especificados na Tabela 8.

As análises de laboratório realizadas neste projeto foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) e no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqA) localizados na Universidade Federal de Ouro Preto.

Tabela 8 - Análises no laboratório.

Parâmetro	Unidade de medida	Método de análise	Equipamento utilizado	Laboratório de análise
Metais dissolvidos em água	µg/L	Espectrofotometria de emissão atômica com fonte de plasma individualmente acoplado (ICP-EOS)	BRUKER, S2 Picofox	Laboratório de Caracterização Molecular e Espectrometria de Massas (UFOP)
Metais em sedimentos	mg/kg	Espectrofotometria de emissão atômica com fonte de plasma individualmente acoplado (ICP-EOS)	Modelo Cirox CCD	Laboratório de Geoquímica Ambiental (UFOP)
Cloretos	mg/L	4500-Cl	-	LSA (UFOP)
Nitrato	mg/L	NitraVier 6	Hach 8192	LSA (UFOP)

6.4.1 Amostras de água

No LSA, foram realizadas determinações de cloreto por titulometria e sulfato pelo método turbidimétrico, seguindo o Procedimento Operacional Padrão (POP) do LGqA, baseado nas metodologias propostas por Greenberg et al. (1992), no *Standard methods for examination of water and wastewater*.

Para as determinações de cloreto, foram colocados 100mL de cada amostra em erlenmeyeres de 250mL, utilizando uma pipeta volumétrica, onde foi adicionado 1mL de cromato de potássio. A solução foi titulada com nitrato de prata. O ponto de viragem se deu na mudança de cor para castanho-avermelhado fraco.

Para a determinação de sulfato foi utilizado o turbidímetro marca Micronal, modelo B250. Foram adicionados 100mL de cada amostra em erlenmeyeres de 250mL

utilizando uma pipeta volumétrica. Na sequência, foram pipetados 20mL da solução tampão de ácido sulfúrico 0,02 N e adicionados 2g de cloreto de bário. Após agitação durante 2 minutos as amostras foram levadas para leitura no turbidímetro (GREENBERG, et al. 1992).

6.4.2 Análise química

Teores de metais e metalóides como Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Ti, V e Zn foram determinados por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-EOS), marca SPECTRO, modelo Ciros CCD, em operação no LGqA/DEGEO/UFOP.

6.4.3 Amostras de sedimento

No Laboratório de Saneamento Ambiental da Escola de Minas da UFOP, as amostras foram colocadas em bacias plásticas, previamente descontaminadas, para secagem. As amostras foram tampadas com papel e secadas ao natural.

Após a secagem, as amostras de sedimento foram peneiradas no LSA, utilizando-se peneiras com malhas 9 mesh, 16 mesh, 32 mesh, 60 mesh, 115 mesh, 250 mesh e > 250 mesh, de marca ABNT/ASTM 230. Como se trata de um estudo ambiental, a fração menor que 63mm será utilizada para as análises químicas das amostras de sedimento, considerando que vários estudos indicam que os metais e metalóides estão preferencialmente associados às frações mais finas (FÖRSTNER, 2004; PARRA, 2006).

A fração a ser utilizada para a análise química de digestão total foi levada à estufa por duas horas a fim de se garantir a sua secagem. Em seguida, realizou-se a digestão a fim de prepará-las para análise no ICP-IOS. Foi analisado o enquadramento destes parâmetros de acordo com a legislação ambiental vigente em 2016.

7. Resultados e discussão

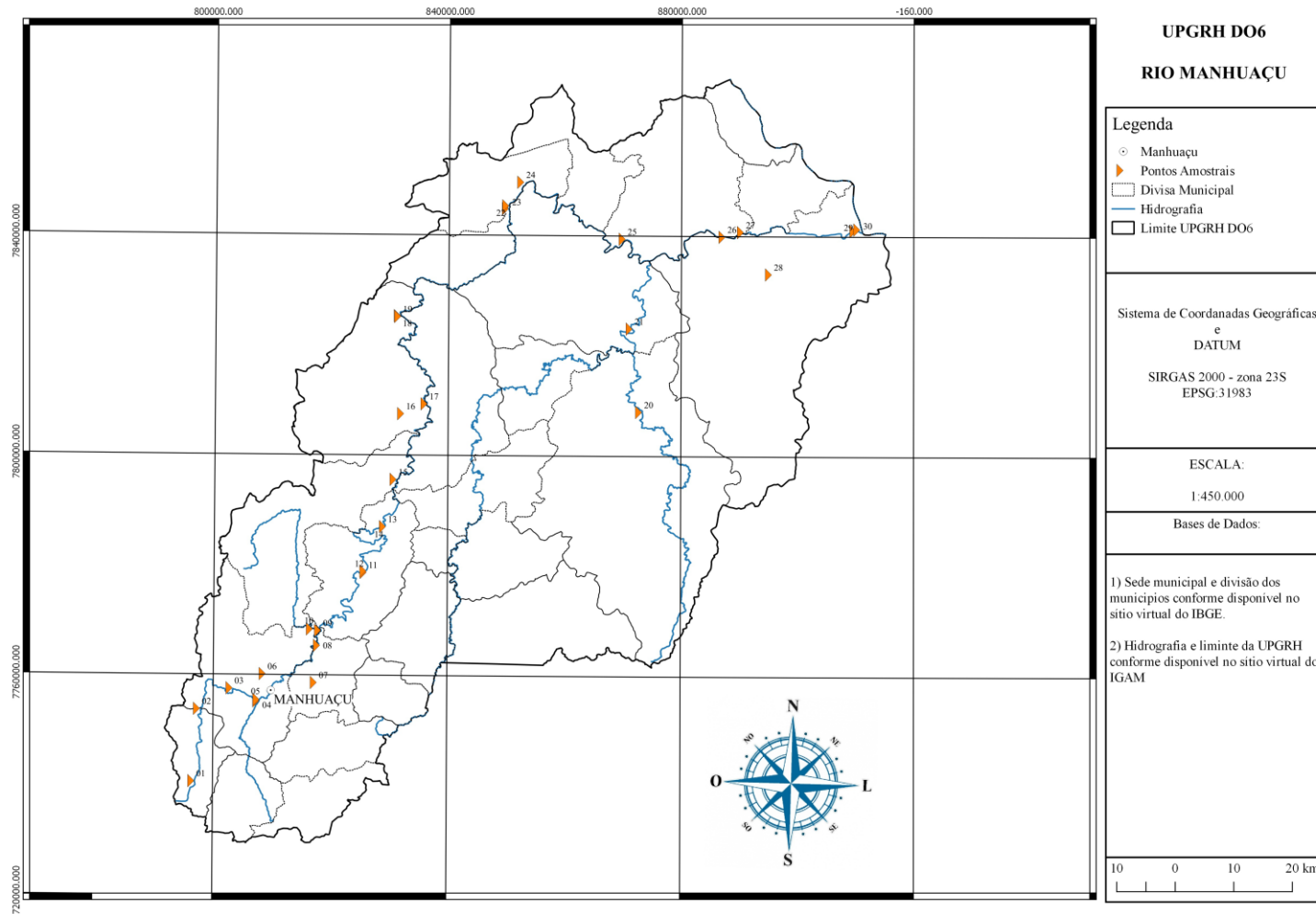
Foram realizadas duas campanhas, uma no período seco e uma no período chuvoso. Na primeira campanha, referente ao período seco, a coleta no ponto 8 não foi realizada, devido a inacessibilidade de uma ponte que estava caída e interditada. No entanto, este ponto do córrego Onça aparentemente se mostra pouco significativo, devido a sua baixa vazão. Já na segunda campanha, referente ao período chuvoso, a coleta nos pontos 16, 18, 23, 24, 25, 26 e 27 não foi realizada devido à impossibilidade de acesso aos locais, em decorrência da má condição das estradas de terra no período de chuva, como mostrado na Figura 14. O mapa da região com indicação dos pontos de coleta é mostrado na Figura 15, e detalhes de cada ponto são apresentados no Anexo I.

Figura 14 - Estrada de terra no período chuvoso, em novembro de 2016.



Não foram realizadas as análises de coliformes termotolerantes e DBO, pois estas análises demandam um período máximo de 24 horas para serem realizadas com precisão adequada. Não foi possível a parceria com laboratórios locais, pois o único que ofereceu interesse em ajudar não usava a metodologia de colilertes disponível pela nossa coleta, e também não dispunha de vidraria e infraestrutura necessária para realização de análise de 30 amostras. É importante ressaltar que além do contato com estes laboratórios particulares, tentou-se contato com o comitê de bacia do rio Manhuaçu, porém não obtivemos sucesso, nem mesmo algum retorno deles.

Figura 15 - Pontos de coleta na DO6.



7.1 Dados obtidos *in situ*

Os dados de oxigênio dissolvido (OD), altitude, temperatura da água, condutividade elétrica, potencial redox (ORP), sólidos totais dissolvidos (TDS) e pH foram obtidos durante a campanha, nos pontos de coleta. A Tabela 9 apresenta os resultados do período seco, e a Tabela 10 do período chuvoso.

Tabela 9 - Dados obtidos *in situ*, período seco.

Ponto	OD (mg/l)	Altitude (m)	Temperatura da água (°C)	Condutividade elétrica (mS/cm ²)	ORP (mV)	TDS (mg/l)	pH
1	0,66	875	26,4	152,00	113	93,98	6,14
2	1,90	820	26,3	215,90	134	138,70	6,22
3	7,48	673	26,3	34,35	122	21,30	7,50
4	7,31	631	25,9	36,20	118	28,55	7,00
5	7,53	633	25,1	45,62	164	28,18	7,06
6	5,91	218	28,9	520,20	72	325,20	7,09
7	7,20	540	25,5	78,65	132	48,78	7,37
9	6,94	518	26,8	60,45	197	40,59	6,97
10	7,79	526	26,5	38,79	186	26,45	7,40
11	7,35	505	27,0	38,23	135	24,85	7,68
12	7,32	502	27,5	55,32	179	36,55	7,17
13	7,37	469	27,7	52,83	182	34,97	7,64
14	7,60	473	27,4	29,56	151	19,38	7,78
15	7,68	448	28,0	54,70	170	36,13	7,49
16	7,52	493	27,3	29,60	121	18,22	8,01
17	7,60	415	28,5	62,40	139	41,21	7,57
18	7,04	316	27,6	157,50	188	115,50	7,25
19	7,78	299	27,8	81,40	108	53,30	7,36
20	5,11	203	30,1	130,70	227	79,90	6,72
21	7,65	167	31,2	63,50	162	39,20	7,26
22	7,45	256	31,0	60,40	195	36,72	7,51
23	7,09	236	33,7	66,15	220	40,78	7,48
24	7,43	242	31,3	55,00	240	33,55	8,11
25	7,26	243	29,6	49,46	145	30,74	7,56
26	7,45	133	29,0	211,00	197	132,50	7,53
27	7,97	130	29,1	64,30	224	40,22	7,80

(Continuação)

Ponto	OD (mg/l)	Altitude (m)	Temperatura da água (°C)	Condutividade elétrica (mS/cm ²)	ORP (mV)	TDS (mg/l)	pH
28	6,40	155	28,8	194,70	189	122,20	7,57
29	7,30	83	29,3	165,90	204	95,01	7,45
30	7,34	99	29,4	85,44	215	52,95	7,10

Tabela 10- Dados obtidos in situ, período chuvoso.

Ponto	OD (mg/l)	Altitude (m)	Temperatura da água (°C)	Condutividade elétrica (mS/cm ²)	ORP (mV)	TDS (mg/l)	pH
1	0,39	875	25,7	70,35	5	44,82	6,60
2	4,29	820	24,1	49,03	81	31,22	6,71
3	8,28	673	22,7	27,07	81	17,03	7,60
4	6,72	631	23,6	49,83	6	31,68	7,73
5	8,16	633	22,8	47,32	136	30,25	7,65
6	6,44	218	25,2	35,59	124	22,52	6,63
7	8,09	540	23,2	250,80	6	163,00	7,48
8	6,20	525	24,4	51,20	91	32,60	7,66
9	7,36	518	23,6	57,12	116	36,38	7,10
10	8,09	526	23,3	31,60	131	19,96	7,45
11	7,23	505	24,9	36,70	43	23,26	7,50
12	7,99	502	23,8	46,72	50	29,69	7,46
13	8,14	469	24,3	54,59	18	34,75	7,59
14	7,80	473	25,3	27,21	14	17,07	7,60
15	7,97	448	24,2	51,61	76	32,87	7,16
17	8,23	415	24,7	48,96	36	31,19	7,73
19	8,27	299	25,3	50,68	4	32,33	7,91
20	6,90	203	25,0	67,05	78	42,75	7,37
21	8,18	167	25,7	65,17	51	41,54	7,69
22	8,02	256	24,8	43,99	8	28,02	7,73
28	6,73	155	26,9	214,50	45	138,70	7,47
29	8,39	83	25,7	539,60	16	373,00	6,52
30	7,03	99	26,4	152,50	31	96,76	7,21

7.2 Dados do laboratório

Os dados de nitrato, cloretos, alcalinidade, turbidez e sólidos totais foram obtidos após análise das amostras no LSA, e são apresentados abaixo, onde a Tabela 11 apresenta os resultados do período seco, e a Tabela 12 do período chuvoso.

Tabela 11 - Resultados analisados em laboratório, período seco.

Ponto	Nitrato (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totais (g/L)
1	2,6	115,1	824,55	15,5	0,30
2	2,5	116,6	2043,76	20,1	0,10
3	2,6	65,5	2465,15	13,9	0,06
4	2,9	76,0	1745,40	141,0	0,15
5	2,8	90,0	1431,85	65,1	0,10
6	2,0	57,5	1285,59	150,0	0,17
7	3,1	83,5	1406,58	271,0	0,20
9	3,2	87,0	1220,00	25,1	0,25
10	2,3	61,5	1708,00	9,9	0,07
11	2,2	69,0	1960,00	14,1	0,07
12	3,1	98,1	1335,86	46,6	0,12
13	3,3	79,5	1615,67	52,8	0,07
14	2,1	58,5	2234,76	8,9	0,07
15	2,9	70,0	1583,57	45,0	0,20
16	2,2	53,5	2846,66	7,7	0,05
17	2,8	76,5	1328,44	18,6	0,10
18	2,2	68,5	1423,33	22,4	0,07
19	2,3	102,1	1183,76	30,2	0,02
20	2,3	94,1	733,49	17,6	0,07
21	2,6	107,1	923,24	22,1	0,02
22	2,8	83,5	1358,63	54,4	0,07
23	2,4	84,5	976,00	86,6	0,02
24	2,2	65,0	960,32	51,6	0,02
25	2,2	75,5	1458,04	167,0	0,12
26	2,6	65,5	1494,50	680,0	0,32
27	2,4	90,5	1101,93	19,3	0,07

(Continuação)

Ponto	Nitrato (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totais (g/L)
28	1,9	137,1	405,28	35,6	0,07
29	2,7	84,0	738,02	171,0	0,12
30	2,6	103,1	1067,50	2553,3	1,25

Tabela 12 - Resultados analisados em laboratório, período chuvoso.

Ponto	Nitrato (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totais (g/L)
1	0,9	106,7	25,00	16,3	3,10
2	0,9	75,5	16,30	5,5	0,86
3	0,9	74,5	9,60	22,3	0,67
4	1,1	101,6	18,90	128,0	1,13
5	1,0	98,6	16,30	68,2	1,80
6	1,1	90,6	11,70	1266,0	1,59
7	1,2	72,5	21,46	80,2	2,13
8	0,8	88,6	29,90	12,8	2,23
9	1,3	59,4	24,30	86,8	0,83
10	1,1	72,5	12,40	92,8	0,80
11	0,9	74,5	20,60	19,1	0,94
12	1,2	69,5	16,80	65,5	3,00
13	1,3	76,5	16,70	43,4	1,02
14	1,8	58,4	18,40	39,3	1,83
15	1,3	81,5	25,50	44,8	0,49
17	1,3	65,4	26,70	77,6	1,13
19	1,1	81,5	22,30	67,7	0,41
20	0,8	100,7	28,40	289,0	0,97
21	1,3	78,5	24,70	261,0	0,40
22	1,3	60,4	14,90	228,0	0,88
28	1,5	231,5	62,60	650,0	0,75
29	1,4	82,6	17,10	905,0	1,10
30	1,2	167,1	29,30	3452,0	3,50

7.3 Análise dos dados obtidos em laboratório

7.3.1 Sólidos totais

As Figuras 16 e 17 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de sólidos totais das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 16 - Sólidos totais no período seco.

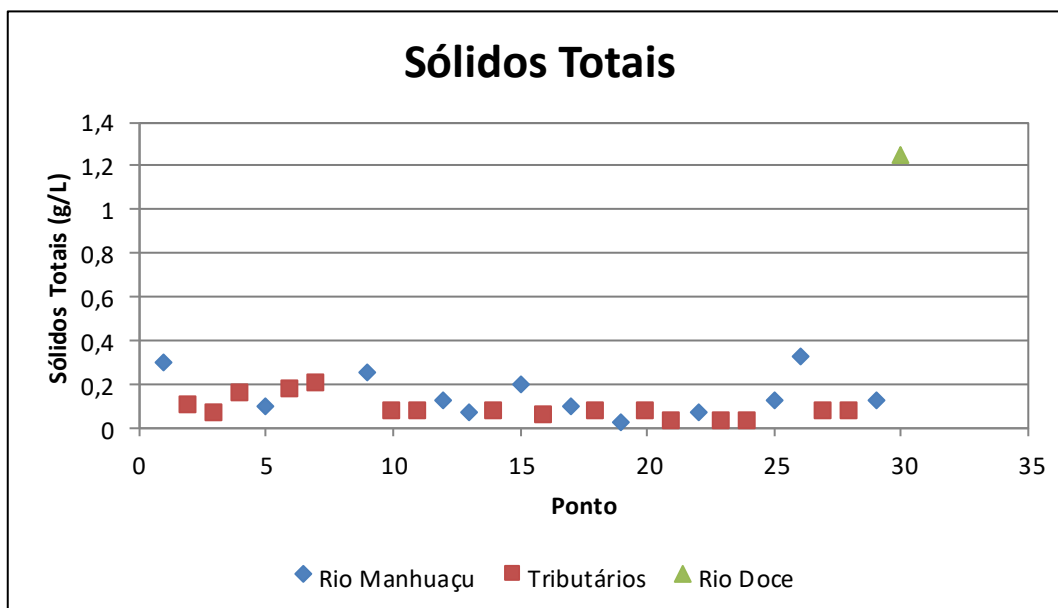
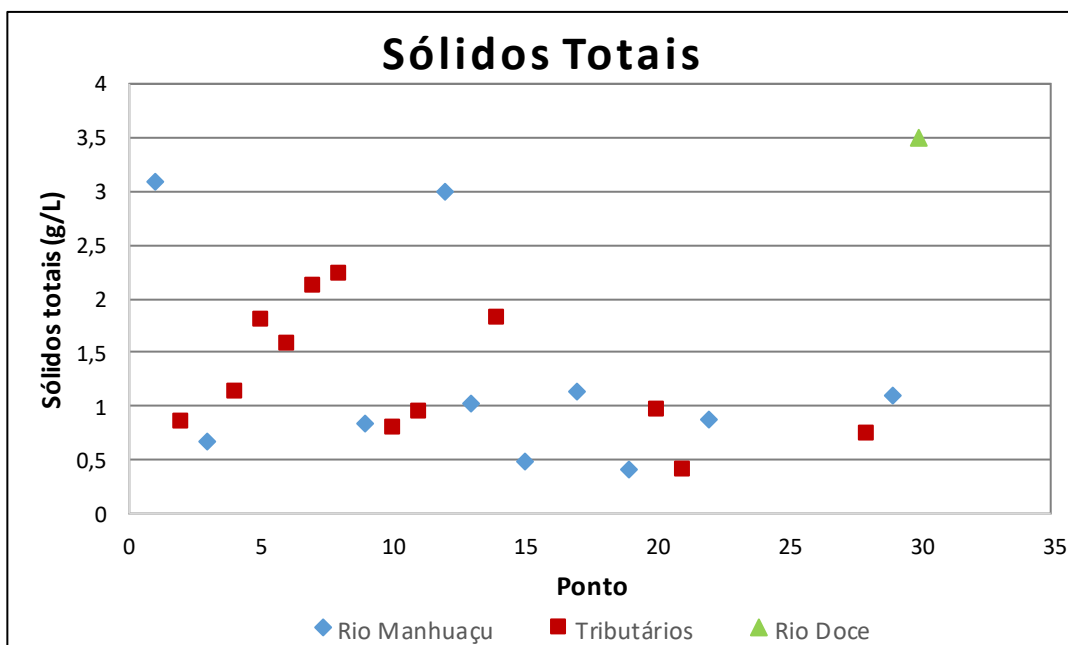


Figura 17 – Sólidos totais no período chuvoso.



A resolução CONAMA 357/2005 não indica valores limites para os sólidos totais. Pela Figura 16 percebe-se que os valores estão de certa forma uniformes ao longo da bacia do rio Manhuaçu. No entanto, no ponto 30, referente ao rio Doce, este valor se encontra cerca de 6 vezes maior. Isso se explica pelo desastre ambiental ocorrido nas barragens de rejeito da Samarco Mineradora S.A. em novembro de 2015, 5 meses antes da coleta.

Como apresentado na Figura 17, o teor de sólidos totais na segunda campanha está maior em todos os pontos de coleta, em relação ao período seco. Isto é o esperado no período chuvoso, uma vez que o maior volume de água carrega maior quantidade de material e sedimentos.

O ponto 1 está com o valor de sólidos totais muito acima dos demais. No momento da coleta, notou-se que o local estava pantanoso e com baixo escoamento, o que pode ter causado este acúmulo de material.

No ponto 12, que também está com um valor bem acima dos demais, foram identificadas ossadas de boi, que apesar de não explicar diretamente a maior quantidade de sólidos, indica atividade humana de despejo de material nas águas e uma possível criação de animais por perto.

O ponto 30, localizado no rio Doce, apresentou também nesta segunda campanha o maior valor dentre todos os pontos, o que mais uma vez mostra que os impactos do desastre ambiental da Samarco Mineradora S.A ainda são percebidos um ano após o ocorrido.

7.3.2 Cloretos

As Figuras 18 e 19 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de cloretos das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 18 – Cloretos no período seco.

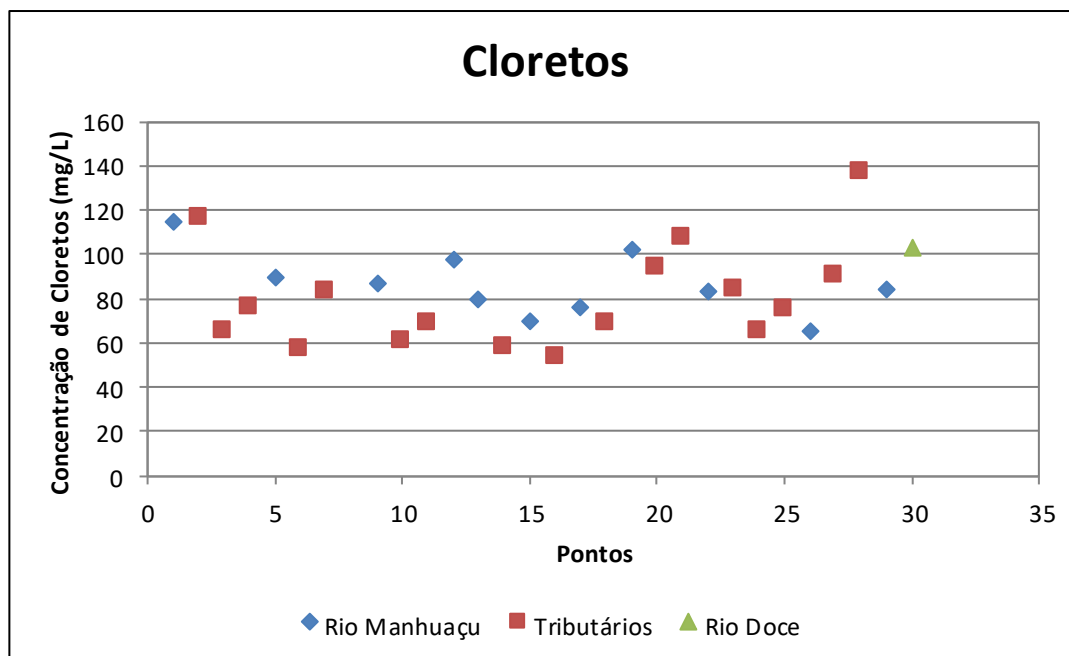
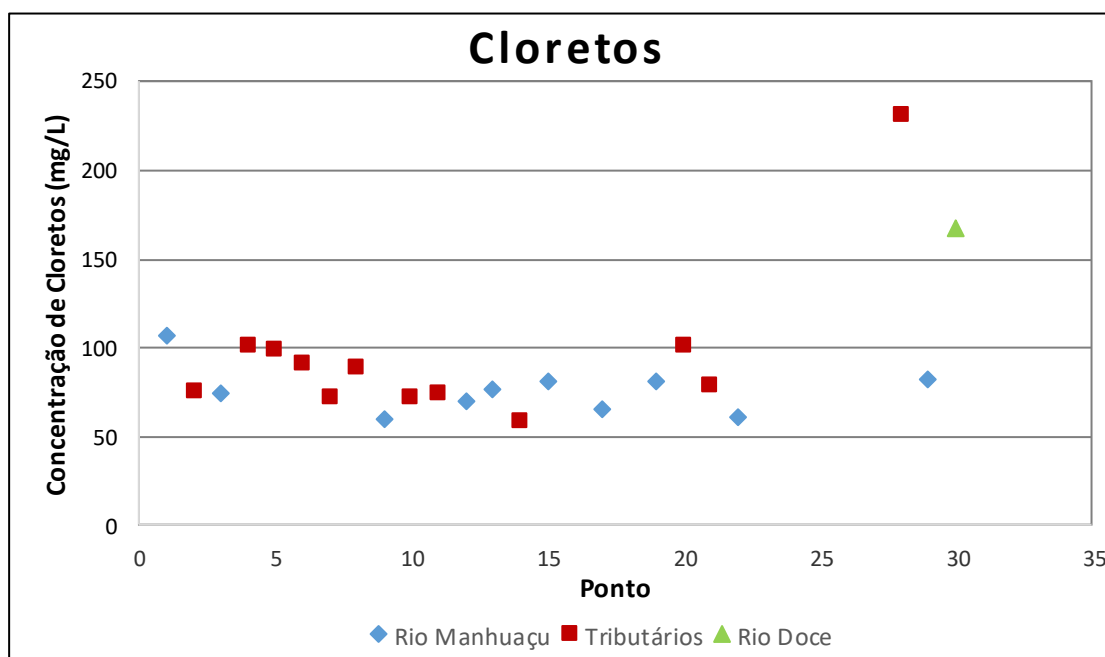


Figura 19 – Cloretos no período chuvoso.



Todos os pontos da Figura 18 apresentaram concentrações de cloreto dentro do estipulado pela CONAMA 357/2005, para classificação como classe 1, 2 e 3, que deve ser menor que 250mg/l.

No período chuvoso, Figura 19, todos os pontos continuaram com valores abaixo de 250 mg/l. Os pontos 28 e 30 são localizados em áreas urbanas bem concentradas, o que leva a crer que estes valores muito acima dos demais provém de esgoto doméstico. Inclusive, foi observado descarga de várias casas diretamente para estes cursos d'água.

Figura 20 - Ponte sobre o rio Manhuaçu, novembro de 2016.



7.3.3 Alcalinidade

As Figuras 21 e 22 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de alcalinidade das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 21 – Alcalinidade no período seco.

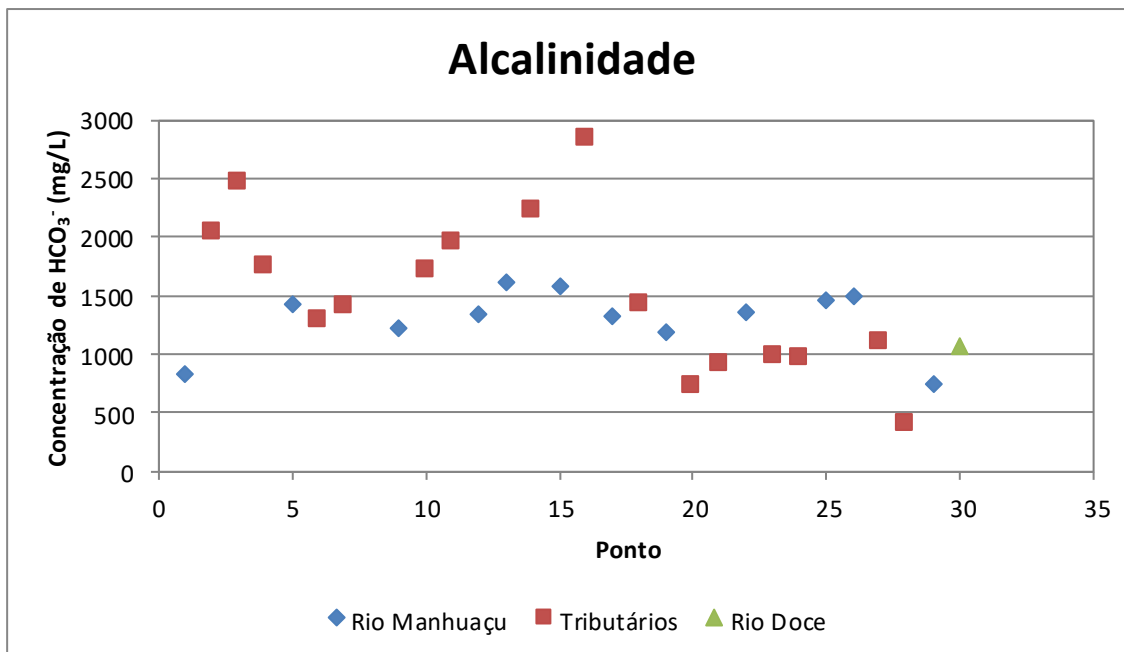
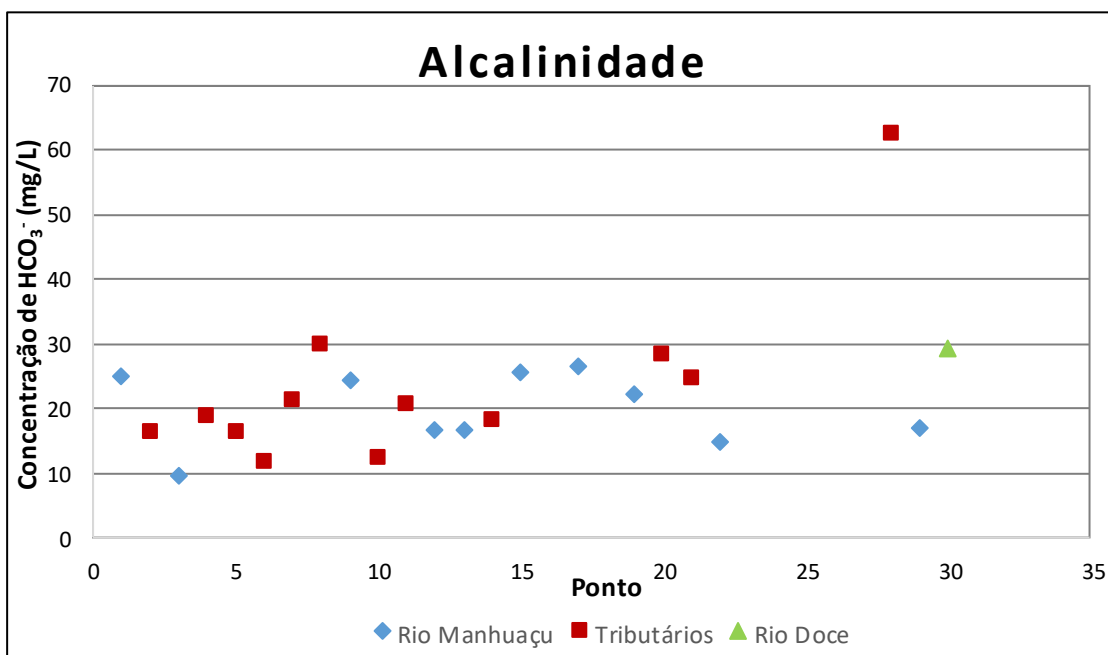


Figura 22 – Alcalinidade no período chuvoso.



Este parametro não é especificado pela CONAMA 357/2005, porém percebe-se na Figura 21 que no rio Manhuaçu esta concentração apresenta certa uniformidade, apresentando maiores variações nos tributários. O mesmo padrão foi observado no período chuvoso, com exceção do ponto 28, que foi coletado próximo à região urbana, devido ao bloqueio na estrada de terra que levava ao ponto coletado no período seco.

7.3.4 Nitrato

As Figuras 23 e 24 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de nitratos das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 23 – Nitrato no período seco.

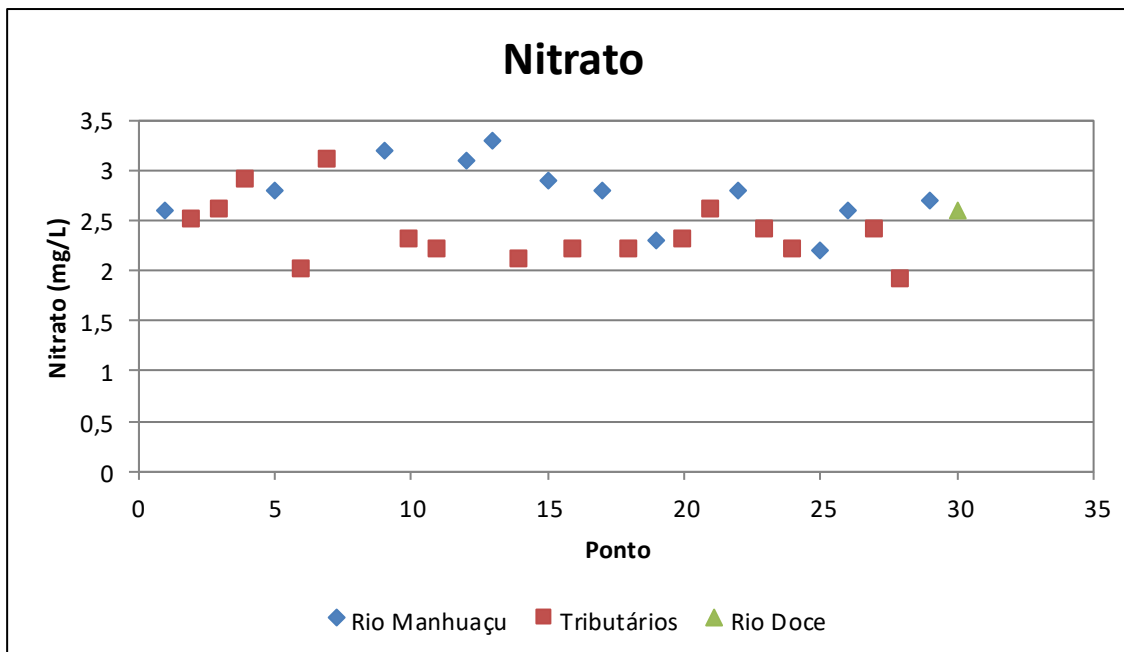
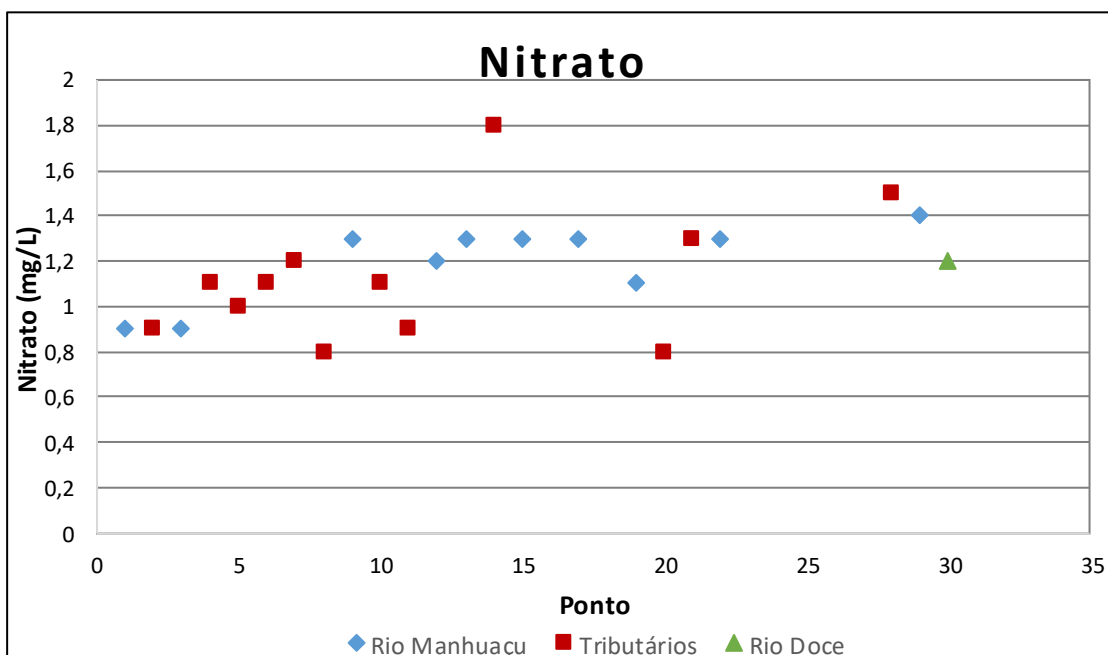


Figura 24 – Nitrato no período chuvoso.



Todos os pontos analisados no período seco apresentaram concentração de nitrato abaixo de 3,5 mg/L, como apresentado na Figura 23, e a resolução CONAMA 357/2005 estipula valores abaixo de 10 mg/L para enquadramento na classe 1, 2 e 3. O mesmo foi observado no período chuvoso, porém devido a maior vazão, os valores estão menores pela diluição, como visto na Figura 24.

7.3.5 Turbidez

As Figuras 25 e 26 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de turbidez das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 25 – Turbidez no período seco.

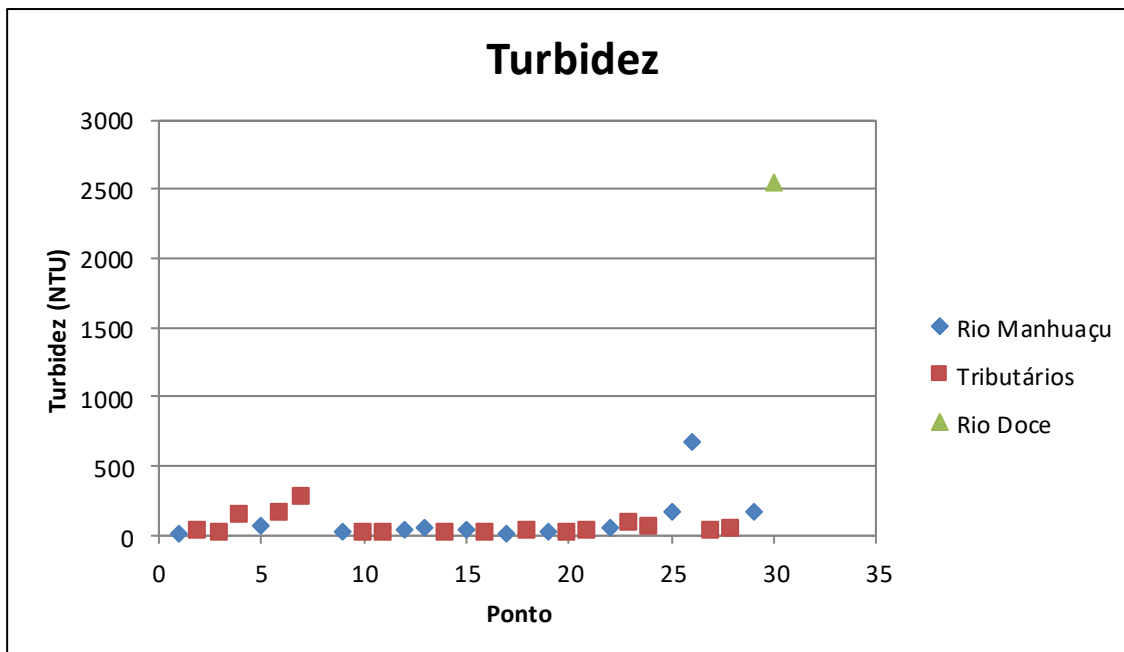
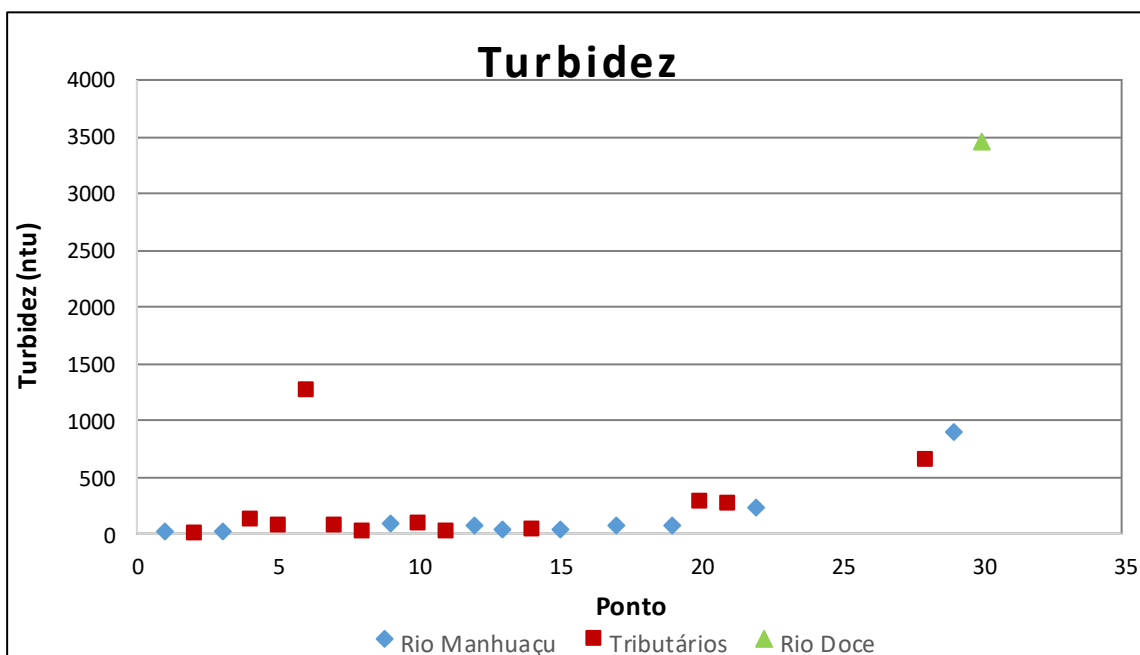


Figura 26 – Turbidez no período chuvoso.



A resolução CONAMA 357/2005 estipula turbidez menor que 100 NTU para classe 2 e 3. A maior parte dos pontos no período seco apresentaram turbidez menor que 100 NTU, com exceção dos pontos 6, 7, 25, 26, 29 e 30, como mostrado na Figura 25. O ponto 30, do rio Doce, apresentou uma turbidez muito alta comparada aos outros pontos. Isto se explica pelo acidente com as barragens de rejeito a montante desta bacia, que derramou grandes quantidades de rejeitos no rio, que se propagaram até a data de coleta, 5 meses após o acidente e mais de 300 km rio abaixo.

Nas amostras analisadas na segunda campanha, apesar de ter ocorrido um aumento na turbidez global da bacia, o que pode ser justificado pelo período chuvoso, nota-se que, com exceção dos pontos 4, 6, 20, 21, 28, 29 e 30, os demais se encontram com valores menor que 100 NTU exigidos para classificação 1. Mais uma vez, notou-se uma turbidez maior no ponto 30, acima dos demais encontrados na DO6, o que nos mostra que mesmo 1 ano após o desastre da Samarco Mineradora S.A, ainda é observado o impacto do escoamento de sedimentos da barragem.

7.3.6. Metais na água

No Anexo II encontra-se as tabelas A2 e A3 com os dados de concentração de metais nas amostras de água coletadas no período seco e chuvoso. O teor dos elementos metálicos encontrado foi baixo, não apresentando riscos significativos para o meio ambiente.

Figura 27 - Trecho do rio Manhuaçu, novembro de 2016.



7.4 Análise dos dados obtidos *in situ*

7.4.1 pH

As Figuras 28 e 29 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise do pH das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 28 – pH no período seco.

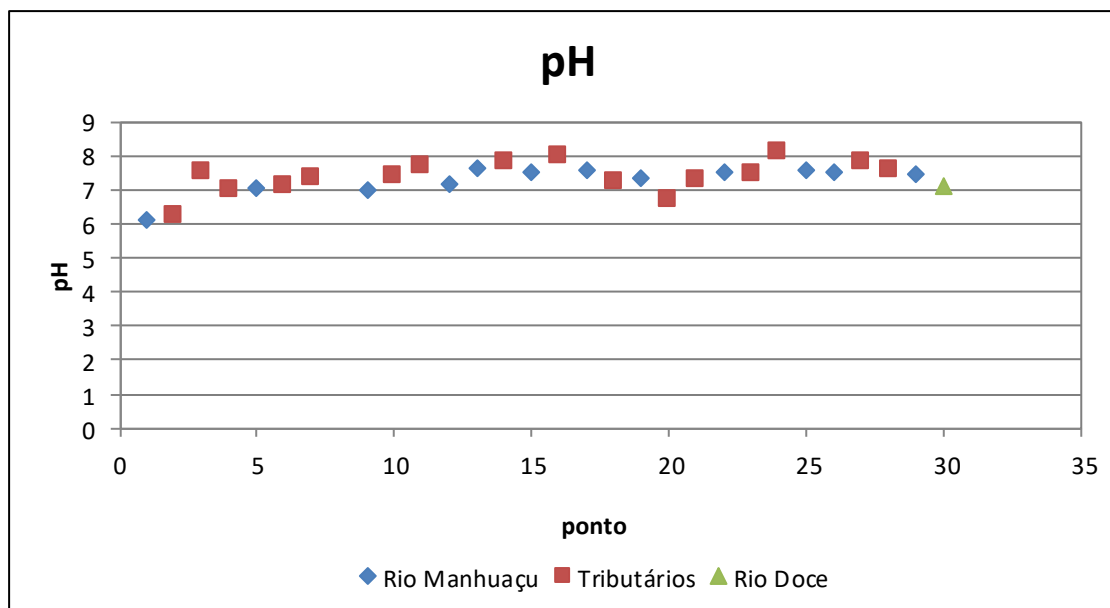
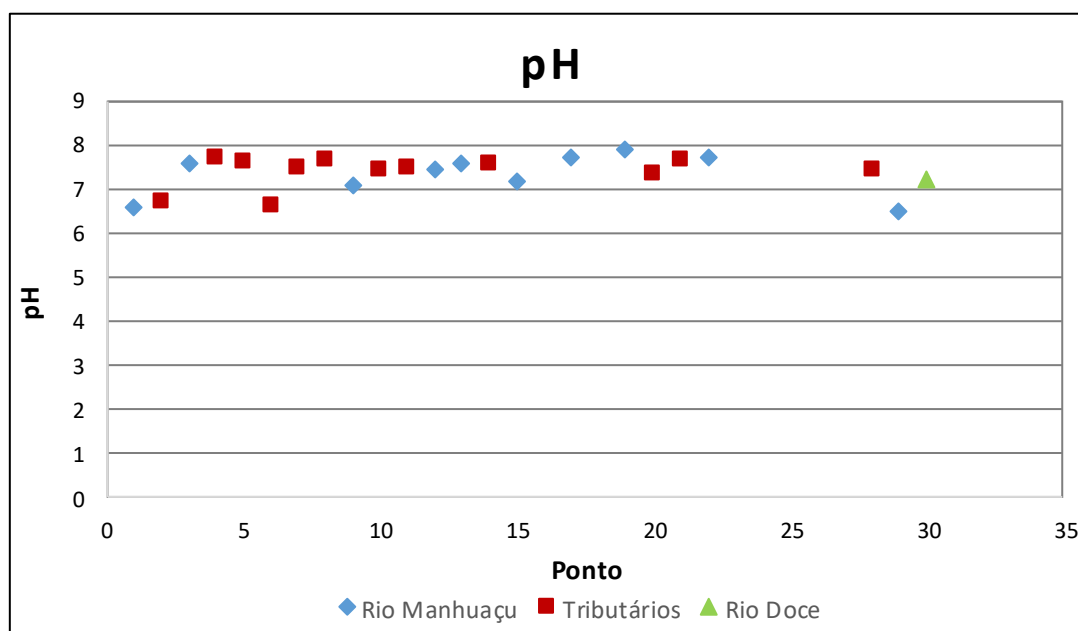


Figura 29 – pH no período chuvoso.



Todos os pontos analisados, tanto no período seco como no chuvoso, se encontram com pH menor que 9 e maior que 6, como mostrado nas Figura 28 e 29, o que é estipulado pela resolução CONAMA 357/2005 para serem classificados como classe 1.

7.4.2 Sólidos Totais Dissolvidos

As Figuras 30 e 31 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise de sólidos totais dissolvidos das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 30 – TDS no período seco.

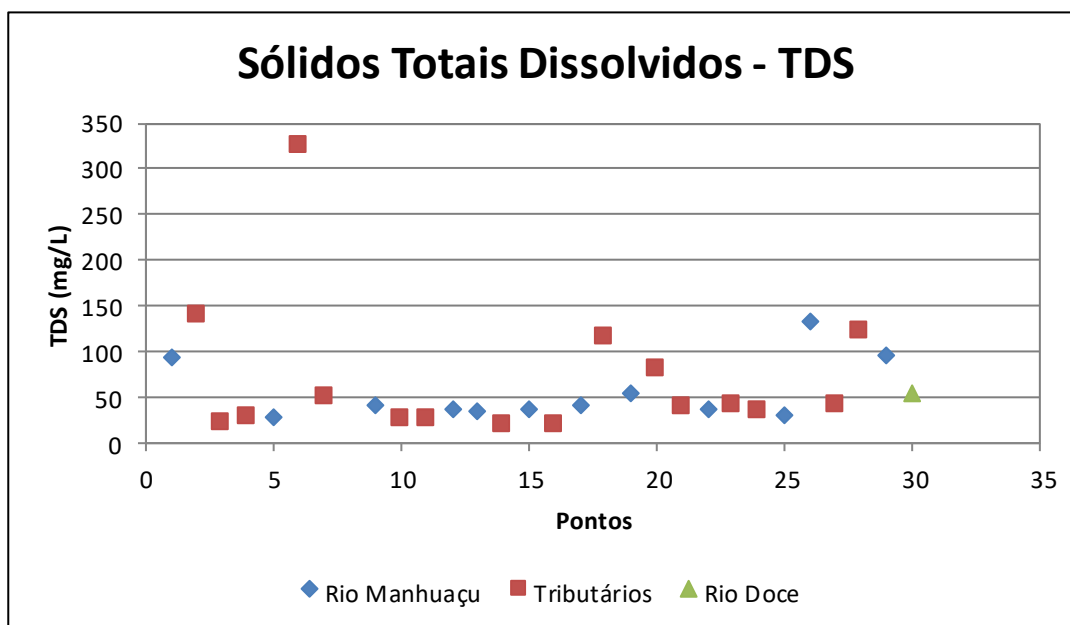
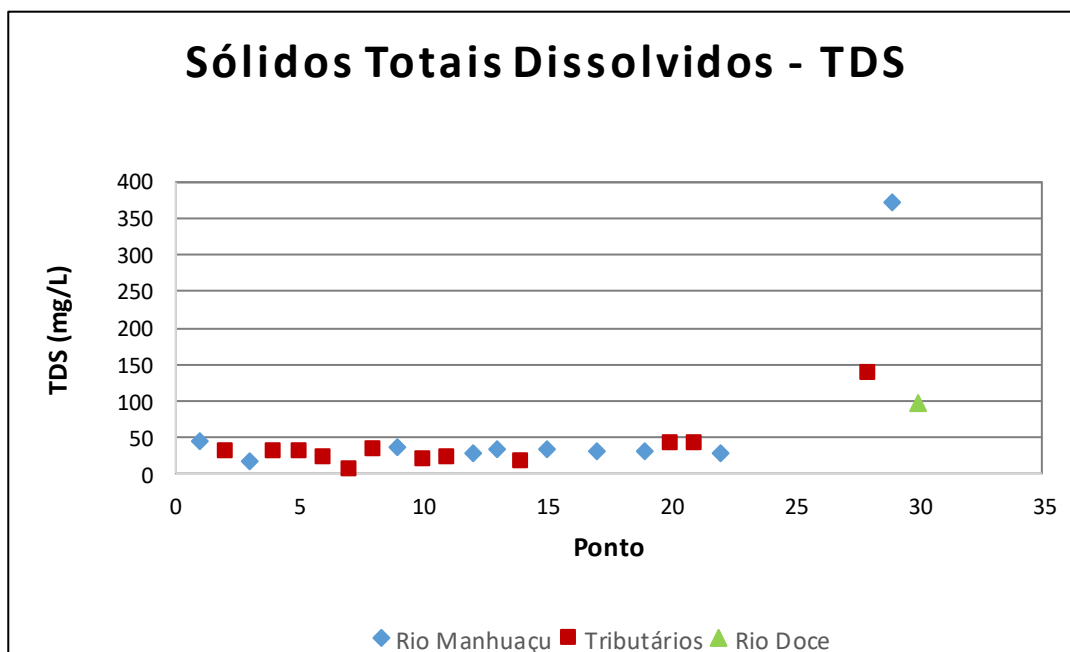


Figura 31 – TDS no período chuvoso.



Todos os pontos no período seco apresentaram TDS menor que 350 mg/L, como mostrado na Figura 30, sendo a grande maioria menor que 150 mg/L. Pela resolução CONAMA 357/2005, 500 mg/l é o limite para classificação 1, logo todos os pontos se encontram em classe 1 em relação a este parametro.

No periodo chuvoso, o TDS também manteve-se dentro dos valores exigidos pelo CONAMA para classe 1.

7.4.3 Potencial Redox

As Figuras 32 e 33 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise do potencial redox das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 32 – ORP no período seco.

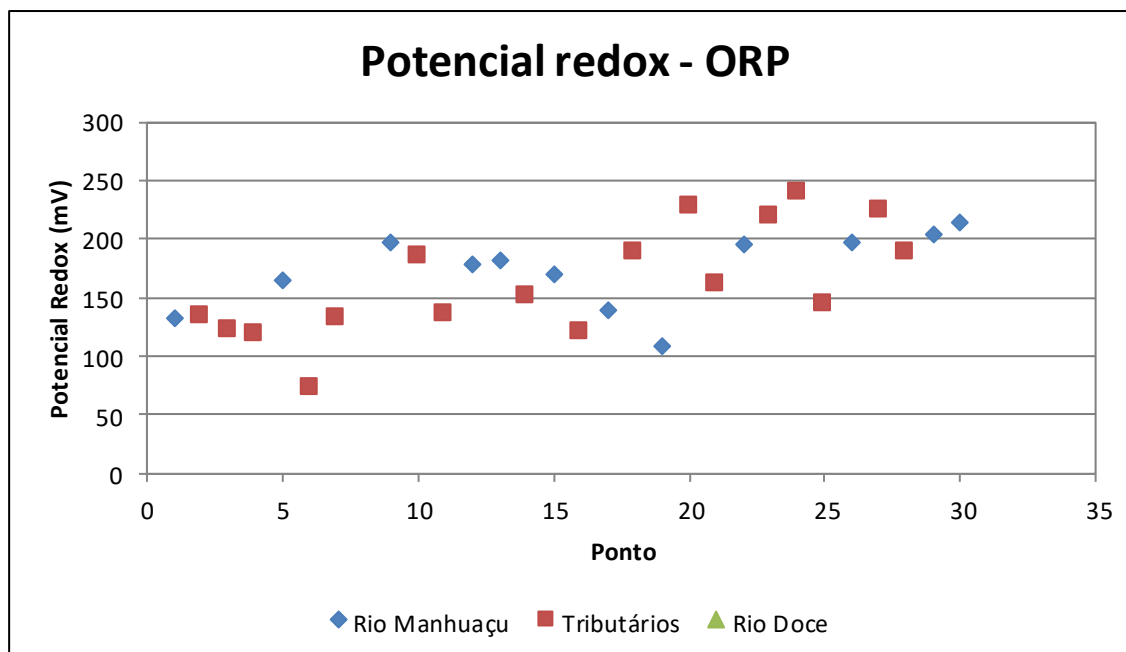
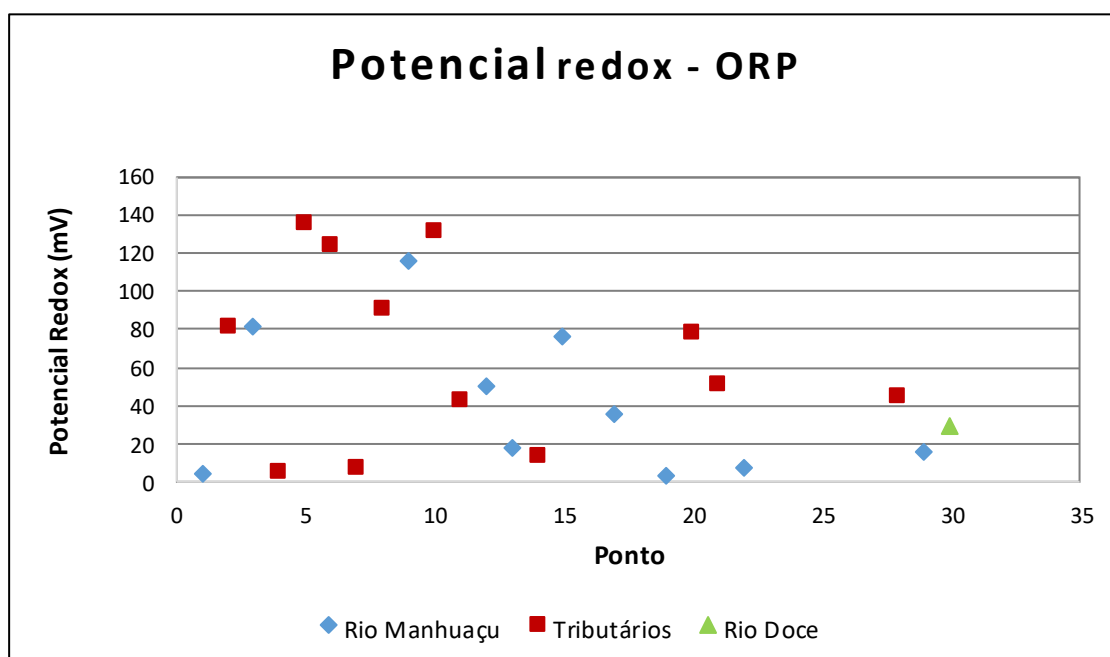


Figura 33 – ORP no período chuvoso.



O ORP não é estipulado pela resolução CONAMA 357/2005 para classificar cursos d'água.

Pode-se ver que os valores de ORP diminuem na época chuvosa. Isto se dá principalmente pela diluição de ânions e agentes oxidantes ou redutores nos corpos d'água.

7.4.4 Condutividade elétrica

As Figuras 34 e 35 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise da condutividade elétrica das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 34 - Condutividade elétrica no período seco.

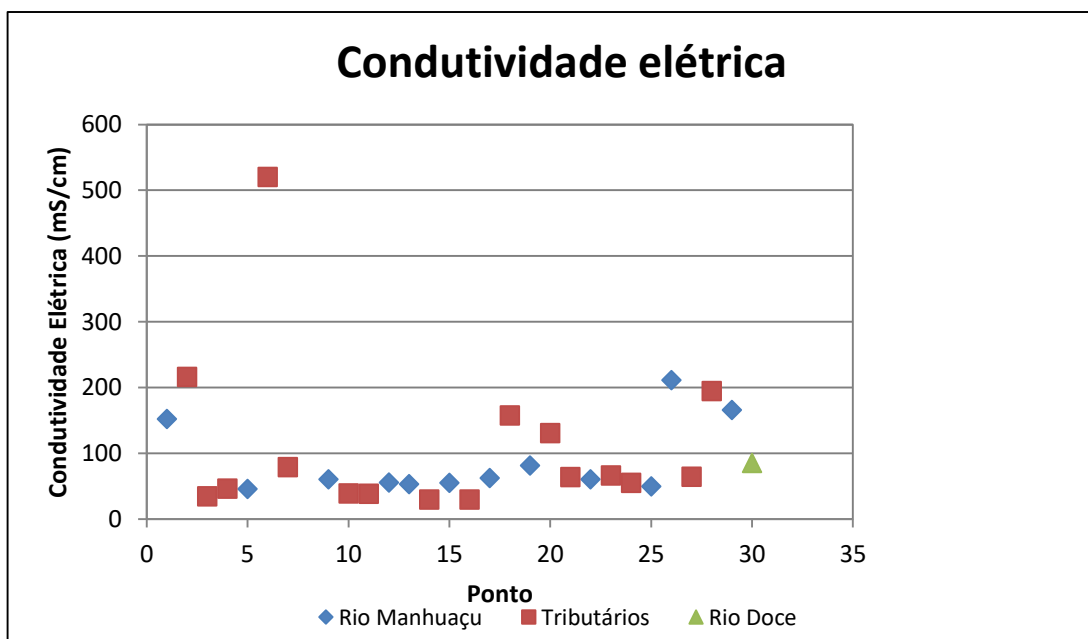
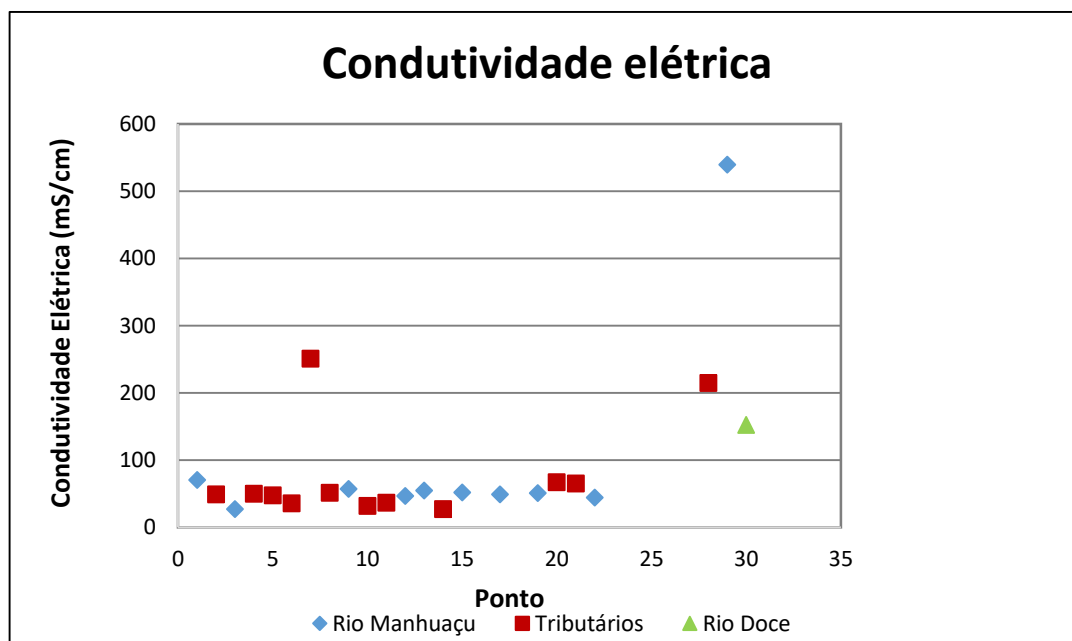


Figura 35 - Condutividade elétrica no período chuvoso.



A condutividade elétrica dos pontos mostrados na Figura 34 se mantiveram abaixo dos 200 mS/cm, com exceção do ponto 6, que é o ponto no rio Corredeiros. Esta discrepância pode indicar alta concentração de substâncias húmicas ou metais dissolvidos.

No período chuvoso, apresentado na Figura 35, a maior parte dos pontos apresentou valores baixos de ORP, abaixo de 100 mS/cm. O ponto com maior valor é o 29, ultrapassando os 500 mS/cm, e representa a foz do rio Manhuaçu no rio Doce.

7.4.5 Temperatura da água e do ar

As Figuras 36 e 37 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise da temperatura da água das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 36 - Temperatura da água no período seco.

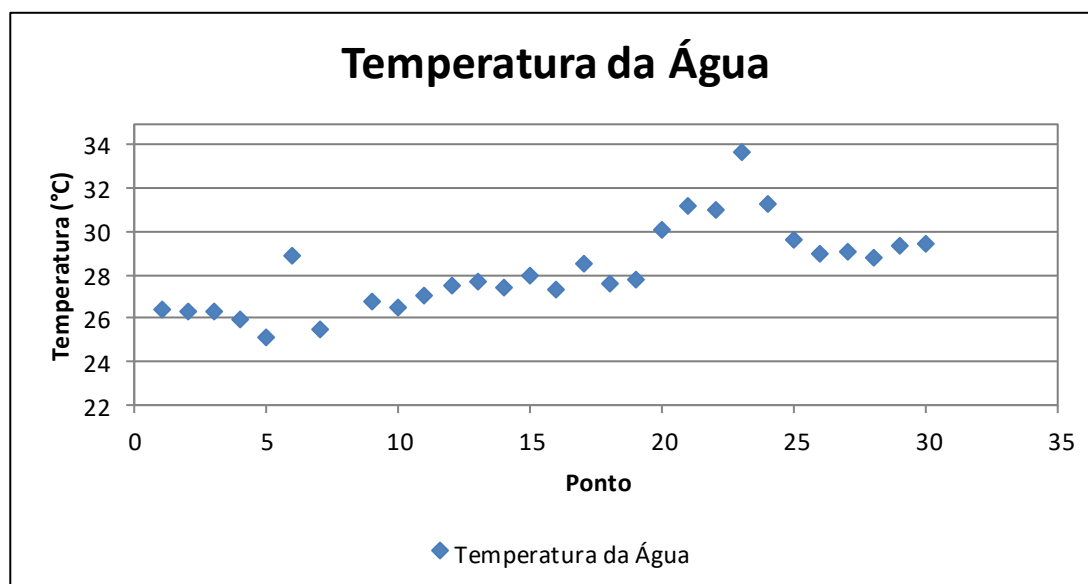
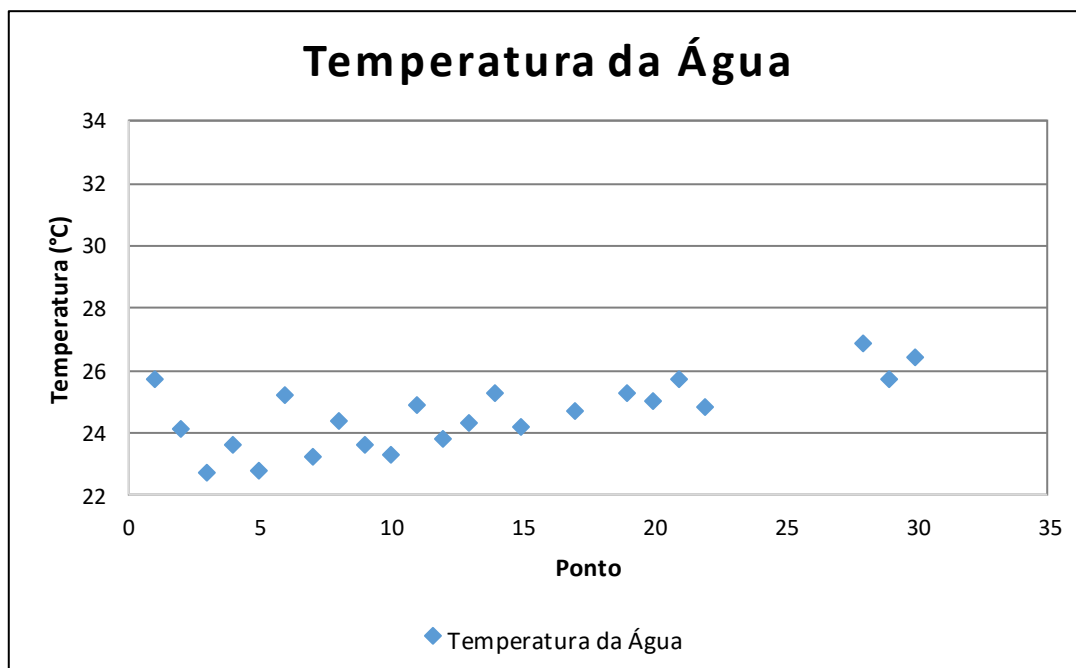


Figura 37 - Temperatura da água no período chuvoso.



De forma geral, as temperaturas da água estão uniformes, como mostrado nas Figuras 36 e 37. A variação apresentada parece ser devido a hora do dia e incidência solar, pois nenhuma indústria de médio ou grande porte foi reportada nas regiões coletadas.

7.4.6 Oxigênio dissolvido

As Figuras 38 e 39 apresentam os gráficos que relacionam os resultados da análise do oxigênio dissolvido das amostras do período seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 38 – OD no período seco.

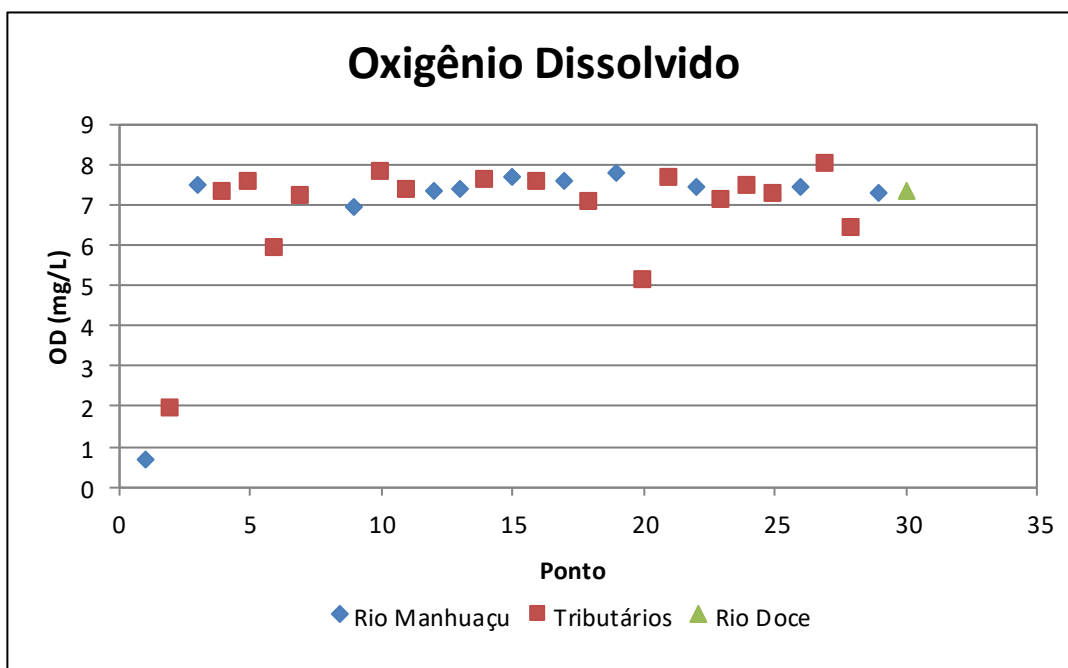
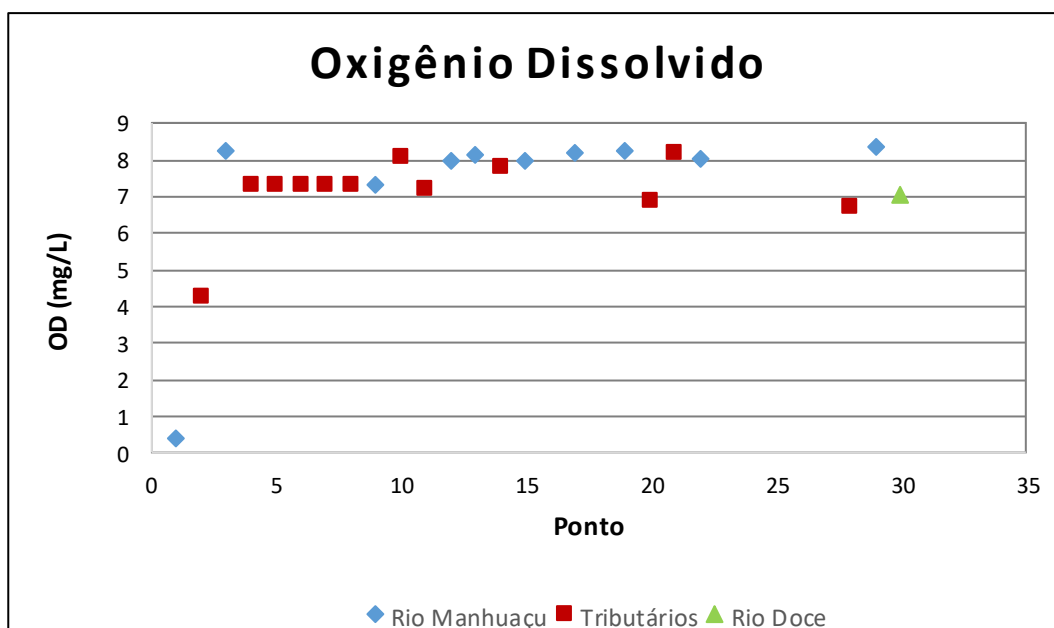


Figura 39 – OD no período chuvoso.



A maior parte dos pontos analisados no período seco apresentam OD acima de 6,0 mg/L, como mostrado na Figura 38, que é o mínimo estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para enquadramento em padrão classe 1. Nos pontos 1 e 2 que, apresentaram OD abaixo de 2,0mg/L, foi observado regime de águas lentas e características de pântano sem água corrente, o que pode explicar estes valores. O ponto 6 com OD de 5,91 também apresentou água quase parada, o que dificulta a troca gasosa com a atmosfera. O ponto 20, com OD de 5,11, apresentou regime de correnteza. No entanto, observou-se área de pastagem e fezes de animais bovinos próximo a margem, o que pode indicar despejo de material orgânico no leito do rio, diminuindo um pouco o oxigênio dissolvido.

No período chuvoso, mostrado na Figura 39, os únicos pontos que aparentam ser pobres em OD são os pontos 1 e 2, que como na primeira campanha continuaram a apresentar regime muito lento de escoamento e características de pântano e criação de animais, que contribuem para a depleção de oxigênio nos corpos d'água. Os demais pontos apresentaram pequeno aumento, devido ao maior escoamento e agitação das águas durante o período chuvoso, como mostrado na Figura 40.

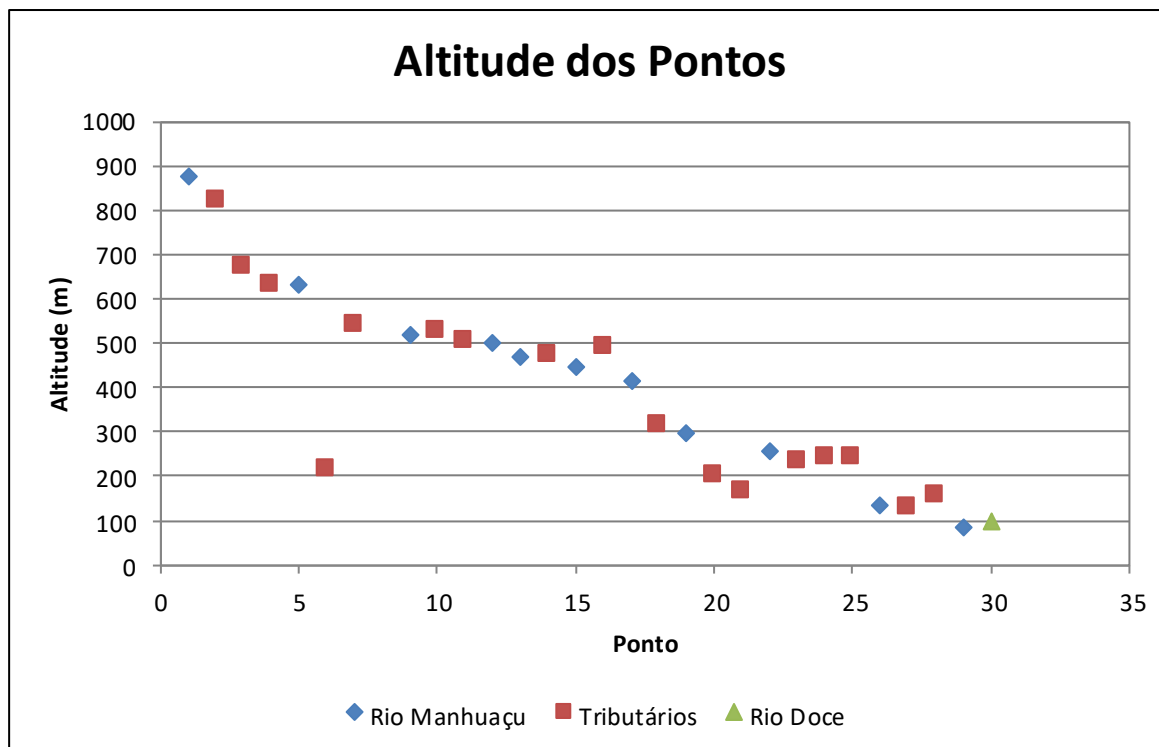
Figura 40 - Trecho do rio Manhuaçu.



7.4.7 Altitude dos pontos

A Figura 41 mostra o gráfico que apresenta a altitude de cada ponto de coleta.

Figura 41 - Altitude dos pontos de coleta.



A respeito da altitude dos pontos, pode-se perceber a queda de altitude com o decorrer da bacia, uma vez que os pontos foram ordenados de acordo com sua proximidade à nascente. O ponto 6 está fora do padrão, por ser um ponto alterado durante a campanha de coleta, pois descartou-se um ponto pouco significativo próximo a cidade de Manhuaçu, por apresentar vazão insignificante, e adicionou-se um ponto a norte da cidade de Ipanema, próximo à entrada para Pocrane.

7.5 Análise dos sedimentos

A concentração de alguns elementos metálicos nos sedimentos da Bacia do Rio Manhuaçu pode ser comparada com a de outros rios da Bacia do rio Doce, a partir de dados obtidos por estudos realizados previamente por outros autores, como apresentado na Tabela 13. Percebe-se que, em geral, a presença de metais no rio Manhuaçu é em uma concentração mais baixa, em alguns casos chegando a ser até mais de 300 vezes menor.

Tabela 13 - Concentração de metais e metalóides nos sedimentos de alguns rios da Bacia do Rio Doce. (Fonte: Reis et al, 2017)

Rio	Referência	As	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Do Carmo	Costa et al.	14,0 –		18,0 –	28,0 –	16,0 –		25,0 –
	(2006)	1378,0	–	2119,0	291,0	141,0	–	966,0
Conceição	Parra et al.	4,2 –	3,9 –	0,1 –	6,9 –	5,3 –	3,5 –	36,6 –
	(2007)	89,0	125,0	344,0	626,0	88,1	75,9	378,0
Gualaxo do Norte	Rodrigues et al.	5,6 –		2,2 –	18,2 –	10,3 –	4,6 –	28,7 –
	(2013)	534,0	–	87,7	227,0	135,0	98,7	85,6
Oratórios	Lacerda e		0,5 –	27,5 –	72,8 –	16,6 –	12,5 –	51,5 –
	Roeser (2014)	–	0,8	553,0	962,0	303,0	71,8	173,0
Matipó	Reis et al.			28,7 –	90,8 –	26,7 –	14,5 –	81,0 –
	(2017)	–	–	5827,0	278,0	63,4	93,7	2623,0
Manhuaçu	Presente			1,2 –	1,9 –	3,2 –	7,6 –	3,8 –
	trabalho	–	–	17,1	72,0	13,2	81,9	116,9

O resultado da análise de sedimentos realizada no LqGA encontra-se no Anexo III. Entre os metais quantificados, foram selecionados alguns mais relevantes para serem correlacionados nos gráficos a seguir.

7.5.1 Cromo, cobalto e níquel

As Figuras 42 e 43 apresentam as concentrações de cromo, cobalto e níquel (elementos calcófilos) nos sedimentos de cada ponto, no período de seca e de chuva, respectivamente.

Figura 42- Cromo, cobalto e níquel no período de seca.

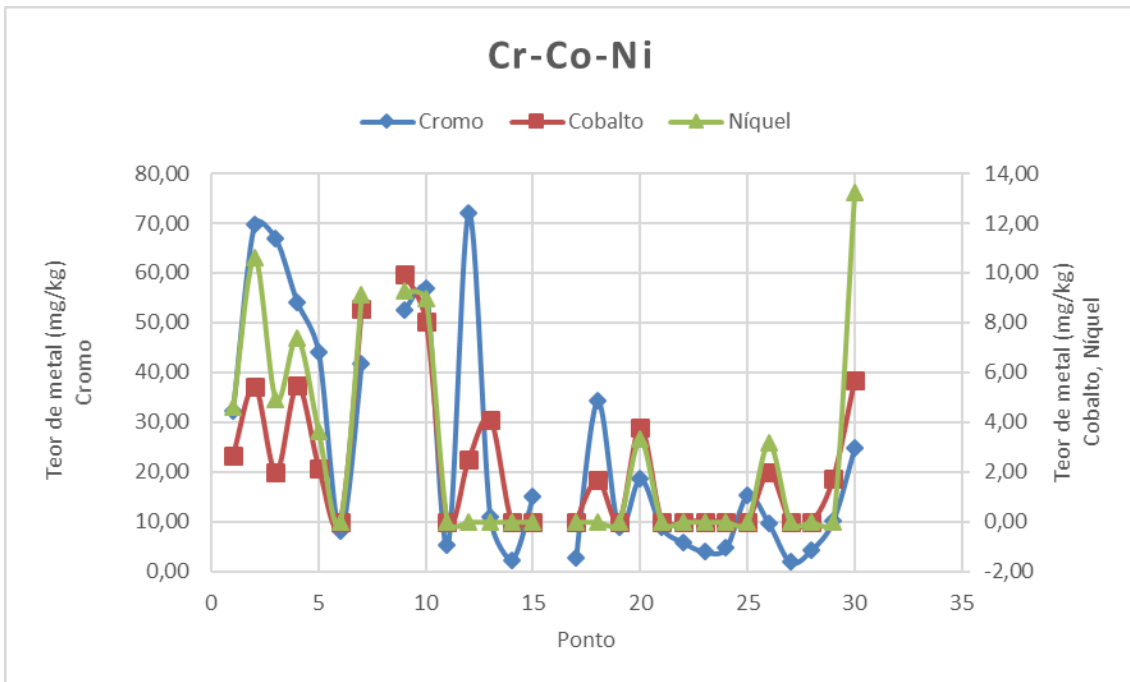
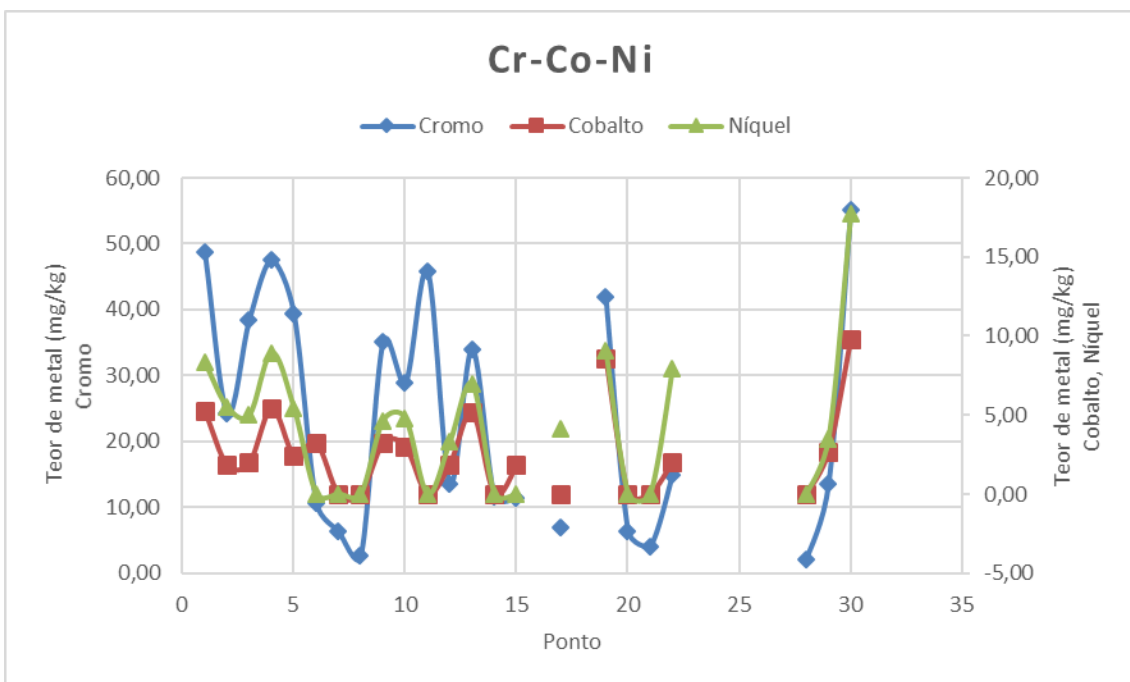


Figura 43 - Cromo, cobalto e níquel no período chuvoso.



Percebe-se que os elementos seguem as mesmas proporções de ocorrência o que indica uma ocorrência litológica destes elementos sem impactos significativos devido a atividade antropica. Para os valores de cobalto e níquel abaixo do limite de quantificação (indicados nos gráficos como 0), tem-se os menores valores de cromo medido. A região de descontinuidade no gráfico é devido a ausência de amostragem destes pontos como explicado na metodologia.

7.5.2 Ferro e magnésio

As Figuras 44 e 45 apresentam as concentrações de ferro e magnésio (elementos litófilos) nos sedimentos de cada ponto, no período de seca e de chuva, respectivamente.

Figura 44 - Ferro e magnésio no período seco.

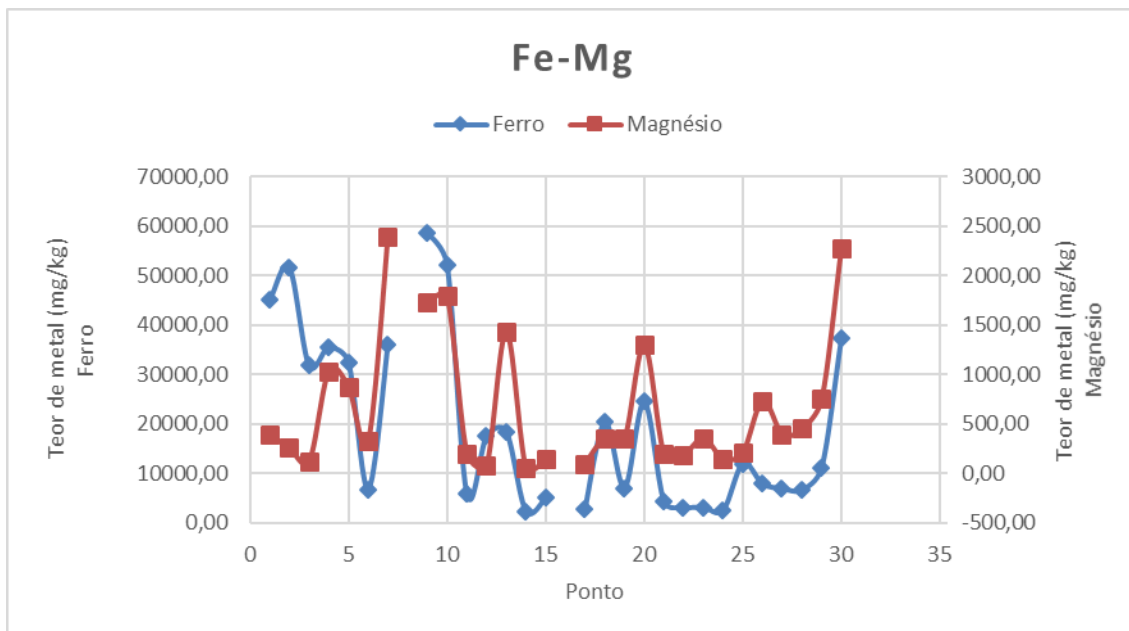
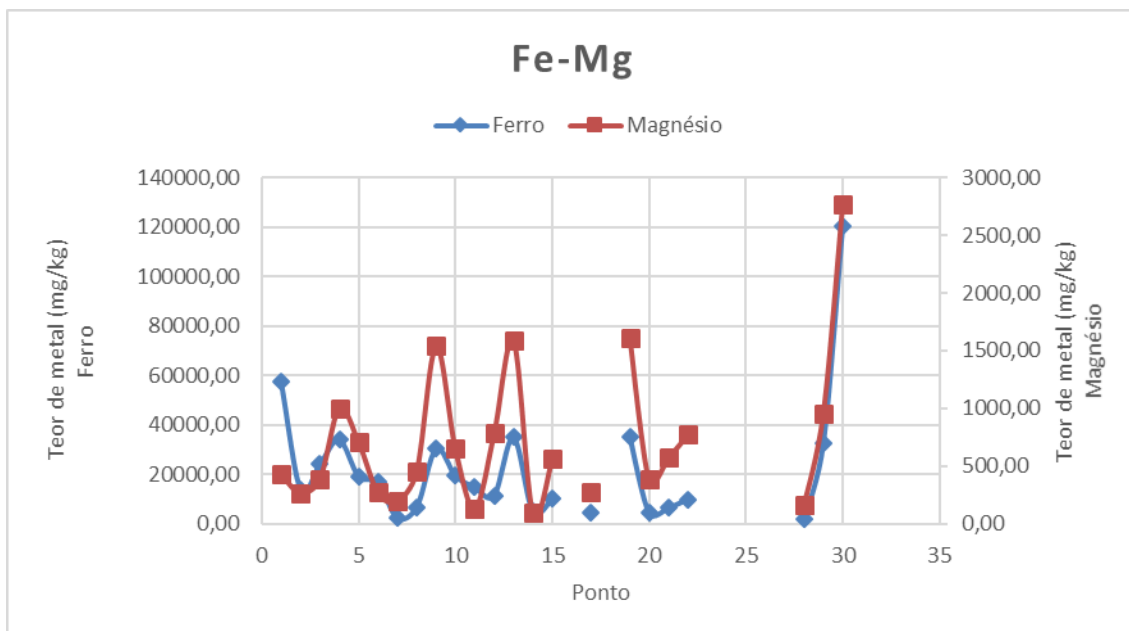


Figura 45 - Ferro e magnésio no período chuvoso.



A ocorrência de ferro e magnésio aparentam ser litológicos, e não representam contaminação ao meio ambiente. Os valores mais elevados coincidem com o curso principal do rio Manhuaçu, e em seus tributários percebe-se menor teor destes elementos. O ponto 30, referente ao rio Doce, apresenta o teor mais elevado destes metais, o que provém do escoamento de rejeitos de minas de extração de ferro e outros minerais no quadrilátero ferrífero a montante da DO6.

7.5.3 Ferro e vanádio

As Figuras 46 e 47 apresentam as concentrações de ferro e vanádio nos sedimentos de cada ponto, no período de seca e de chuva, respectivamente.

Figura 46 - Ferro e vanádio no período seco.

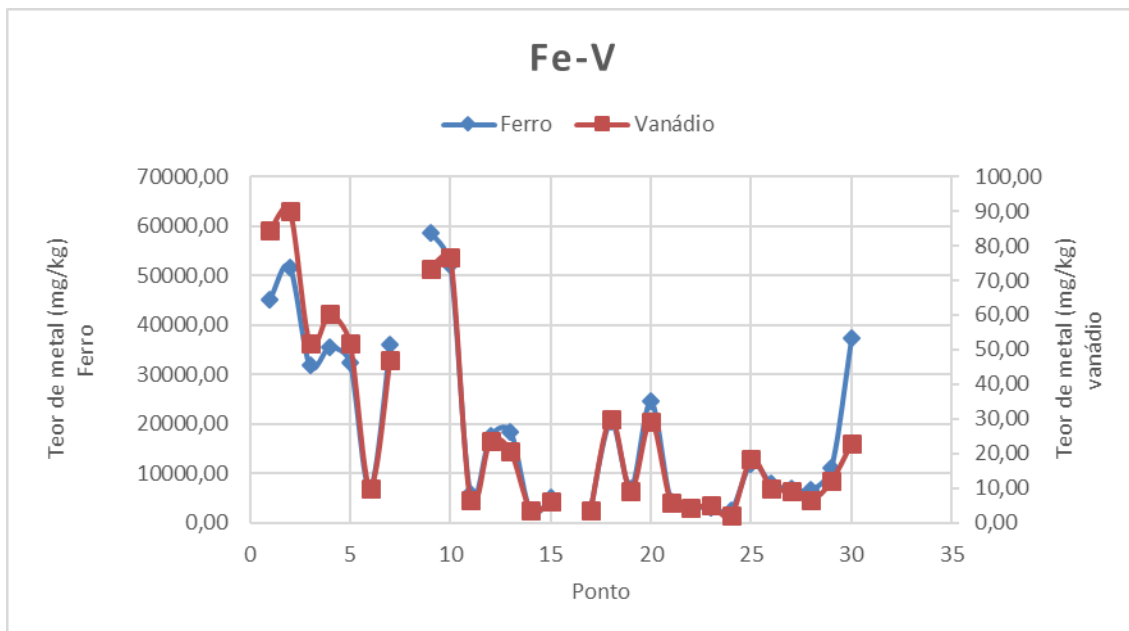
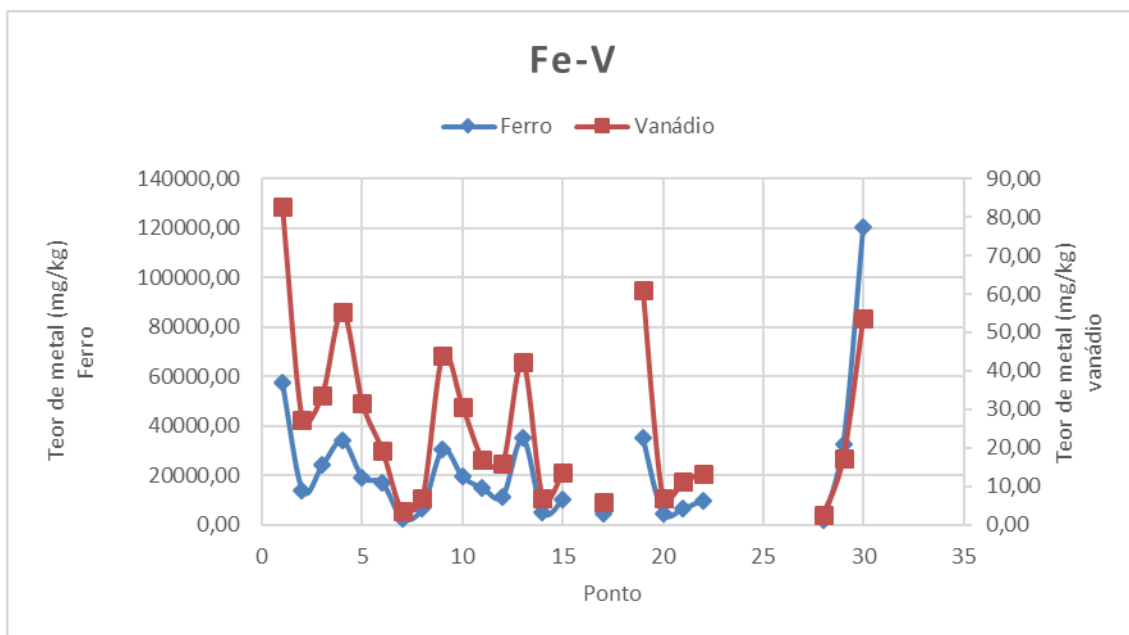


Figura 47 - Ferro e vanádio no período chuvoso.



Os elementos ferro e vanádio apresentaram muita conformidade quanto a suas presenças nos sedimentos analisados, o que leva a crer que a ocorrência destes se deve a fatores litológicos e da composição local, uma vez que estes dois metais ocorrem juntos na natureza. Mesmo em pontos que o valor está maior, não necessariamente é por contaminação, e de fato na região da DO6 não há presença de lavra de minério de ferro.

7.5.4 Sódio, potássio, estrôncio e cálcio

As Figuras 48 e 49 apresentam as concentrações de sódio, potássio, estrôncio e cálcio nos sedimentos de cada ponto, no período de seca e de chuva, respectivamente.

Figura 48 - Sódio, potássio, estrôncio e cálcio no período seco.

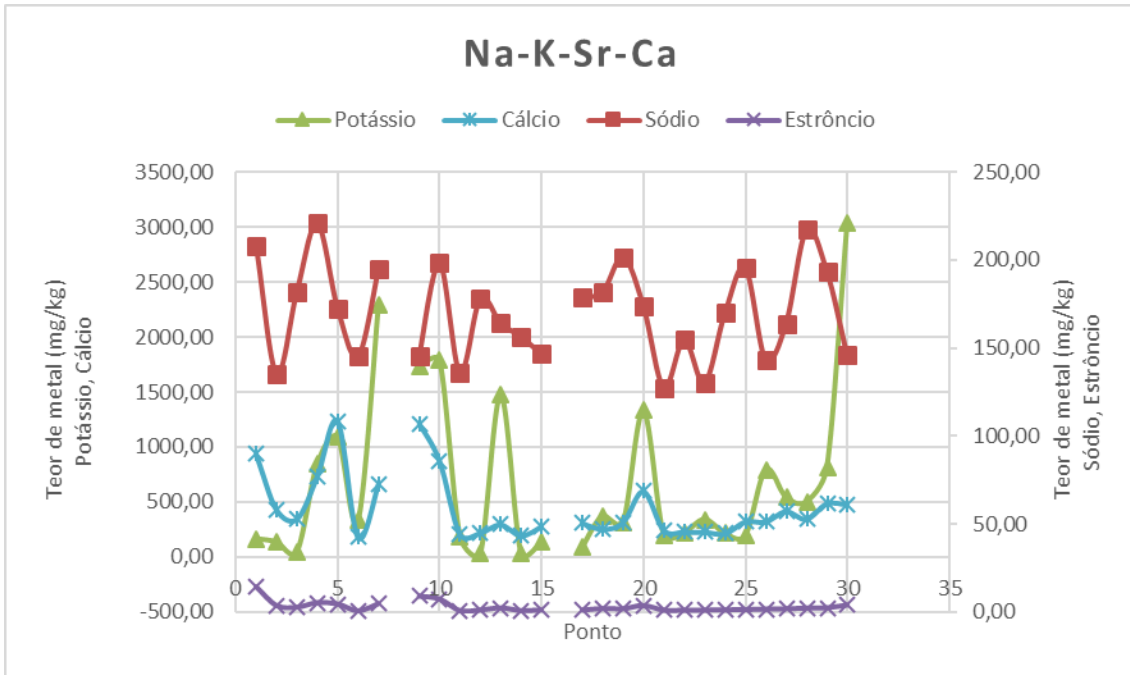
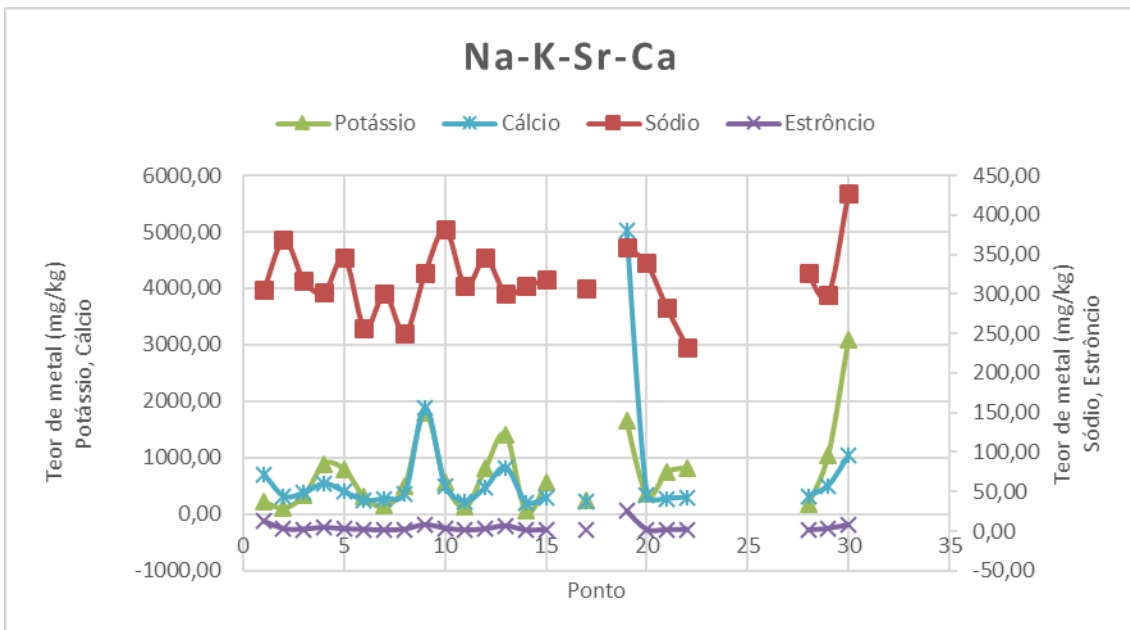


Figura 49 - Sódio, potássio, estrôncio e cálcio no período chuvoso.



Percebe-se que os valores de sódio no período seco estão elevados. Este metal alcalino é muito presente no esgoto doméstico, e apresenta uma mobilidade em água elevada.

Os pontos onde encontram-se picos de potássio, cálcio e estrôncio são no curso principal do rio Manhuaçu, se destacando em relação aos tributários, o que leva a crer que estes elementos estão sendo carreados ao longo da bacia. Como a principal atividade desta bacia é a agricultura de café, acredita-se que estes nutrientes provenham destas lavouras.

7.5.5 Cobre e zinco.

As Figuras 50 e 51 apresentam as concentrações de cobre e zinco nos sedimentos de cada ponto, no período de seca e de chuva, respectivamente.

Figura 50 - Cobre e zinco no período seco.

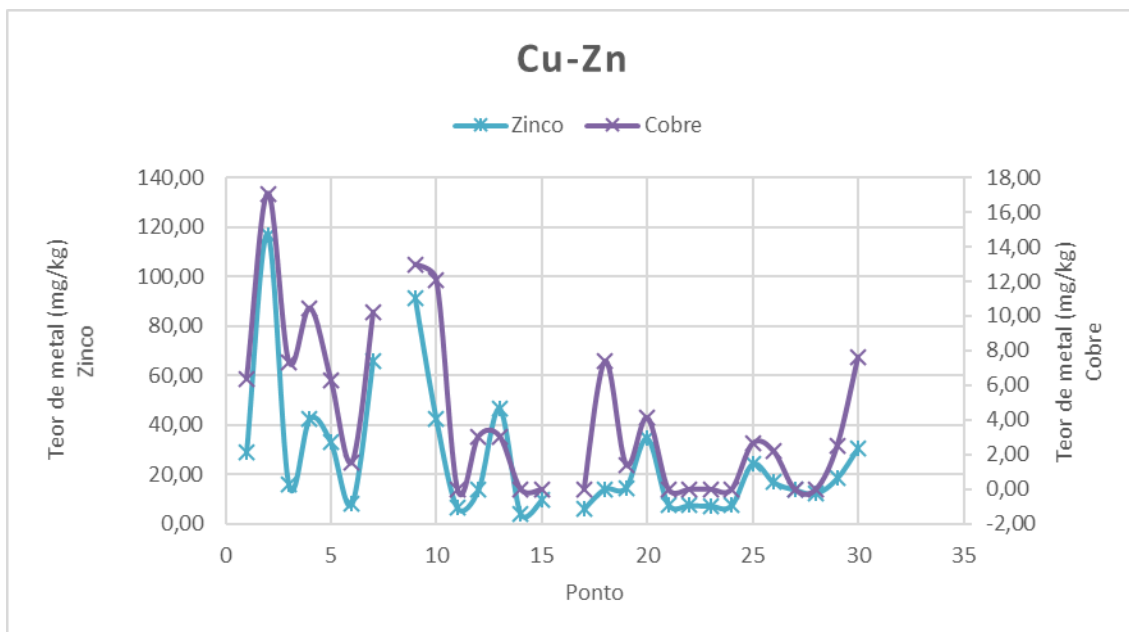
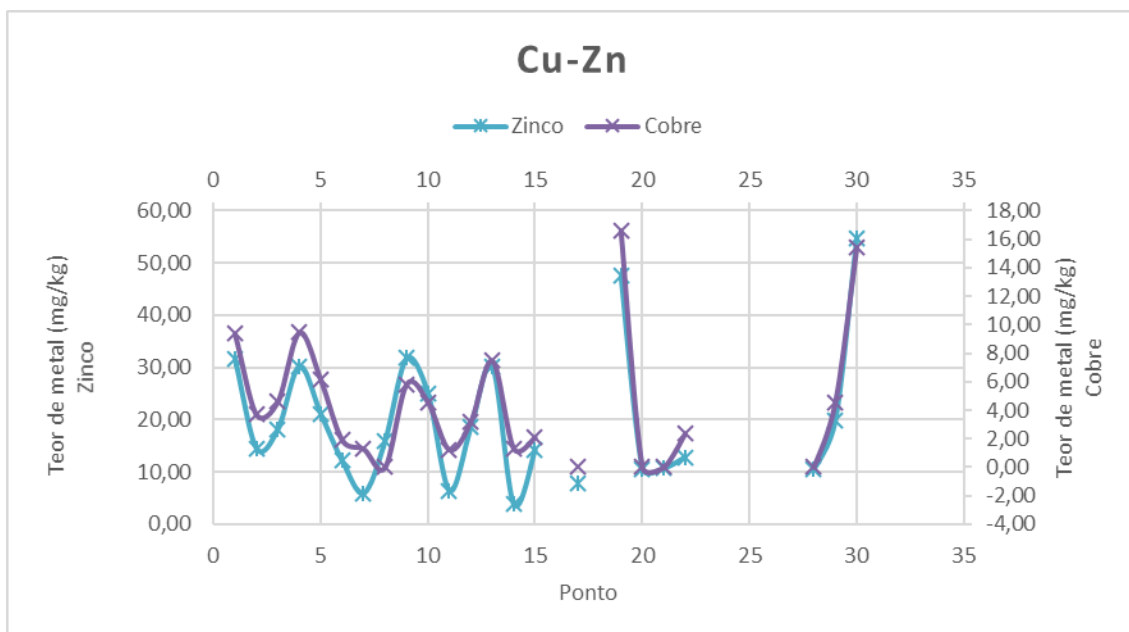


Figura 51 - Cobre e zinco no período chuvoso.



A correlação entre o cobre e o zinco está boa, como pode-se notar o padrão de ocorrência destes elementos ao longo da bacia seguem o mesmo perfil. Isto leva a crer que não há fonte poluidora antrópica destes elementos na bacia.

8. Conclusões

Foi realizada uma análise de parâmetros de importância ambiental da UGRH DO6 (rio Manhuaçu) e a partir da mesma pode-se perceber que a água e sedimentos desta bacia estão impactados principalmente por poluição urbana e de atividades de plantio ou cultivos familiares e de pequeno porte. Por ser uma bacia de atividade industrial ausente, apresentou indicadores de poluição bem menores quando comparados aos do ponto 30 no rio Doce, que indica que a bacia DO6 de certa forma está contribuindo para diluir os impactos mais fortes que vem de montante, uma região mais populosa e industrializada.

Os parâmetros físico-químicos da bacia do rio Manhuaçu encontram-se dentro dos limites estipulados pelo CONAMA, o que indica que tais parâmetros não possuem efeito significativo de impacto nesta bacia. Os valores de OD só apresentaram depleção nos pontos 1 e 2, onde predomina escoamento lento e pouco volume de água. A condutividade elétrica no ponto 7 apresentou valores acima dos demais pontos, o que pela ausência de indústria na região pode indicar uma elevada concentração de substâncias húmicas neste tributário. O ORP diminuiu no período chuvoso em todos os pontos medidos, de acordo com o esperado com o aumento da vazão da bacia.

O TDS dos pontos 6 e 29 apresentaram valores acima dos demais pontos. O ponto 6 encontra-se na entrada do município de Manhuaçu e, além dos esgotos e lixos urbanos, tinha uma pocilga em sua margem. Já o ponto 29 representa o despejo da DO6 no rio Doce, com um regime de escoamento bastante turbulento.

O pH e o nitrato em todos os pontos estiveram dentro dos limites estabelecidos por lei, sendo que o segundo diminuiu significativamente no período chuvoso, devido a diluição causada pelo aumento na vazão.

A turbidez e os sólidos totais de todos os pontos da DO6 encontram-se em valores dentro dos exigidos pela legislação, no entanto estes parâmetros apresentaram valores muito superior aos da DO6 no ponto 30 no rio Doce. Estes valores de sólidos totais e turbidez são indícios das consequências do desastre ambiental do rompimento das barragens de rejeito da Samarco SA, em novembro de 2015.

Os metais encontrados na bacia do rio Manhuaçu não demonstraram nenhum impacto ambiental antrópico uma vez que, ao correlacionar os elementos calcófilos, e litófilos de ocorrência natural conjunta, notou-se que os mesmos seguem a mesma tendência indicando uma possível ocorrência ou derivação litológica quando comparados ao longo da bacia. Quanto aos metais nos sedimentos, ao realizar uma comparação com outros rios da bacia do rio Doce, percebe-se que o rio Manhuaçu está, em geral, com concentrações baixas de elementos metálicos, não apresentando riscos à saúde humana e da biota da área.

Feito o monitoramento da região durante um ano, pode-se verificar que a DO6 apresenta pouco impacto ambiental devido a ações antrópicas, tendo seu maior problema hídrico relacionado a falta de saneamento adequado na região. Viu-se assim necessário uma ação das autoridades para melhorar este problema urbano, contribuindo assim para a manutenção e preservação dos recursos hídricos desta região.

Este trabalho permite ampliação dos estudos e continuidade em pesquisas futuras, com indicação de abordagem dos seguintes tópicos: comparação dos resultados com as demais sub-bacias do rio Doce; medição de DBO e E. coli para caracterização dos aspectos biológicos da bacia do rio Manhuaçu; levantamento de dados do IQA.

REFERÊNCIAS

AGUDO, E. G. *Guia de coleta e preservação de amostra de água*. 1ª ed. São Paulo: CETESB, 1987. 150 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANA – Agência Nacional das Águas, *Indicadores do Índice de Qualidade da Água*. Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: 28 de maio de 2015.

ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Disponível em: < <http://atlasbrasil.org.br/>>. Acesso em 17 de março de 2017.

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

BARBOSA, S. E. S.; BARBOSA, A. R.; SILVA, G. Q.; CAMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V. C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA n°357, de 17 de março de 2005. *Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Publicado no D.O.U.

BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA n°430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA*. Publicado no D.O.U.

CETESB, *Índice de Qualidade da Água*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em 16 de abril de 2015.

ELEUTÉRIO L. *Diagnóstico da Situação Ambiental da Cabeceira da Bacia do Rio Doce, MG, no Âmbito das Contaminações por Metais Pesados em Sedimentos de fundo*. Dissertação de mestrado DEGO / EM / UFOP, 1997.

FARIA, A. L. D; SANTOS, E. E; FILHO, F. I. E; CERQUEIRA, S. M.; SCHAEFER, R. G. E. C. Relatório final do projeto de enchentes – Bacia Hidrográfica do Rio

Manhuaçu – uma Análise das áreas susceptíveis à erosão dos solos. *Revista de Geografia UFPE*, 2010.

FLORES, J.C. Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquiya river. *Water Research*. v.36, p.4664-4666, 2002.

FORSTNER, U. Traceability of sediment analysis. *Trends in analytical chemistry*. Amsterdam, v. 23 p. 217-236, 2004.

GAMA, J. O. X., *História do Rio Manhuaçu*. Disponível em: <http://www.proriomanhuacu.org.br/orio/historia/rio_manhuacu/>. Acesso em: 29 de junho de 2015.

GOMES, M. A. F. *Água: sem ela seremos o Planeta Marte de amanhã*, EMBRAPA 2011. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 19 de junho de 2015.

GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON A.D. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18 ed. Washington: American Public Health Association, 1992.

GUIMARÃES, R. J. P. S. *Ferramentas de geoprocessamento para o estudo e controle da esquistossomose no estado de Minas Gerais*. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Biomedicina. Grupo Santa Casa de Belo Horizonte, 2010.

IBGE- Dimensão ambiental - água doce. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/aguadoce.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2015

IGAM. *Mapas de Bacias Hidrográficas do rio Doce*, 2010. Disponível em: <www.igam.mg.gov.br/geoprocessamento/mapas/1258>. Acesso em 12 de julho de 2015.

IGAM. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais na Bacia do Rio Doce em 2007. Relatório Anual. Projeto “Águas de Minas”. Belo Horizonte. *Instituto Mineiro de Gestão das Águas*. 2008.

JARDIM, W. F. Medição de interpretação de valores do potencial redox (E_H) em matrizes ambientais. *Química Nova*, São Paulo. V. 37, n. 7, p. 1233-1235, 2014.

KOEPPEN BRASIL. *Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros*. Disponível em: <<https://koppenbrasil.github.io/>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2017.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*, Editora Atlas S.A. São Paulo. 1985.

LEMOS, Vinicius Battistelli. Águas da chuva: alguns cuidados. In: BARBOSA, M., Terra, planeta (sem) água. *Revista Guarulhos*, p. 32. Ano XII, Carleto Editorial, 2015.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2ª ed. São Paulo: Editora Átomo, 2008.

Licht, O.A.B. 2001. *A Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental. Identificação e Caracterização de Províncias Geoquímicas Naturais, Alterações Antrópicas da Paisagem, Áreas Favoráveis à Propescção Mineral e Regiões de Risco para a Saúde no Estado do Paraná*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. *Water quality assessment*. Cambridge: University Press, 1992.

MOREIRA, R.C., RIBEIRO, M.A.M. Qualidade das águas. alternativas para o abastecimento do Distrito Federal. *Anais Assoc. Bras. Quím.* v. 50, n.1, p. 8-13, 2001.

PARH DO6; IGAM – *Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Manhuaçu*, 2010.

PARRA, R.R. *Análise geoquímica de água e sedimentos afetados por minerações na bacia hidrográfica do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais- Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 2006.

PARSONS, P.; DIXON, G. *The periodic table: A field guide to the elements*. 1ª ed. Editora Quercus. Londres, 2013.

PEDROSO, F.; BONETTO, C. A.; ZALOCAR, Y. A. Comparative study on phosphorus and nitrogen transport in the Paraná, Paraguay and Bermejo rivers. *Limnologia e Manejo de Represas*. São Paulo: ACIESP, 1988. v.1, t.1, p. 91-117.

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=c37feac3-8169-4049-900b-e8160661f541&groupId=66920>. Acesso em: 17 de junho de 2015.

REBOUÇAS, Aldo da C. *Águas Doces no Brasil, capital ecológica, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=T954AkW_2RQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Distribui%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1gua+doce+no+Brasil&ots=9v6Xcc4YfO&sig=5MZ1wguvhPjw1NvAmMExyy-wLHc#v=onepage&q=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1gua%20doc e%20no%20Brasil&f=false>. Acesso em: 19 de junho de 2015.

REIS, D. A., SANTIAGO, A. F., NASCIMENTO, L. P., ROESER, H. M. P. Influence of environmental and anthropogenic factors at the bottom sediments in a Doce River tributary in Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 1, p. 7456-7467, 2017.

ROESER, H. M. P., NALINI JUNIOR, H. A., DE LENA, J. C., FRIESE, K. Influência da Geodiversidade BA Composição das águas e sedimentos do alto Rio Doce – Um

Balanço de 15 anos de pesquisa Hidrogeoquímicas. *XII CBGq - VII ISEG*. Ouro Preto, 2009.

ROESER, H.M.P., NALINI JUNIOR, H.A., DE LENA, J.C., TROPIA, A., GONTIJO, E.S.J., LACERDA, F.M., FRIESE, K. Classificação geoquímica das águas da bacia do Alto Rio Doce. *XIII CBGq, Resumos*. Gramado, 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA – Disponível em: < <https://www.sosma.org.br> >. Acesso em: 6 de janeiro de 2016.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 1, 4ª edição, UFMG Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte - MG, Brasil, 2014.

ZAGATTO, P.A.; INQUE, J.; NAKAHIRA, S.; BERTOLETTI, E.; GHERARDI-GOLDSTEIN, E.. Dispersão de efluentes e os padrões ambientais; *Ambiente*, v. 7, n. 1, 1993.

ZEFERINO, J., HEITZMANN JR, J., TOBSCHALL, H. J., ROESER, H. M. P. Accumulation and Transport of Mercury due to Gold Processing Activities in Selected River Systems of the Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*. v. 2, n. 1, 847 – 854, 1998.

Anexo I

Tabela A 1 - Descrição e localização dos pontos de coleta.

Numeração	Ponto	Descrição	Localização (zona, longitude, latitude)	Observações
1	Rio Manhuaçu (São João do Manhuaçu)	Oeste da BR 116 (Rio Bahia)	23 K 796818.00 m E 7740574.00 m S	Estrada de terra em frente ao posto Anacleto e Hotel Alcam Estrada de terra,
2	Córrego Bom Jesus	Rio Bahia a leste da cidade de Bom Jesus	23 K 797690.00 m E 7753695.00 m S	próximo à ponte sobre o rio Manhuaçu
3	Manhuaçuzinho	BR 262 entre Realeza e Manhuaçu	23 K 803246.00 m E 7757483.00 m S	Estrada de terra, trevo em V de uma fazenda
4	Rio São Luiz	BR 262, entrada de Manhuaçu	23 K 807844.00 m E 7755149.00 m S	Após concessionária e ponte, virar à direita na Av. Agenor de Paula Salazar
5	Rio Manhuaçu (cidade)	BR 262, entrada de Manhuaçu	23 K 807869.00 m E 7755423.00 m S	Após concessionária e ponte, virar à esquerda na Rua Waldemar Alves Dutra
6	Córrego Coqueiro ou Matinha	Saída noroeste de Manhuaçu, bairro Pinheiro	23 K 808905.00 m E 7760120.00 m S	Seguir Avenida Palmeiras. Na encruzilhada virar à direita e depois esquerda
7	Ribeirão Jequitibá	Ponte BR 262	24 K 190800.00 m E 7758736.00 m S	2 km leste de Reduto, após Pink's Motel
8	Córrego do Onça	Saída a leste da MG 111	24 K 191066.00 m E 7765492.00 m S	Entrar à direita, e após ponte sobre o rio Manhuaçu virar à esquerda
9	Rio Manhuaçu ao sul de Simonésia	Saída da estrada MG 111 na curva	24 K 191126.00 m E 7768216.00 m S	Próximo ao ponto rio São Matheus. Estrada de terra, saída na direção leste
10	Rio São Matheus	MG 111, saída Santana do Manhuaçu/Simonésia	24 K 189711.00 m E 7768419.00 m S	Ponte na MG 111, ao sul de Simonésia
11	Rio Japu	Ponte sobre MG 111	24 K 198495.00 m E 7779067.00 m S	Ao norte de Santana do Manhuaçu
12	Rio Manhuaçu, próximo ao rio Japu	MG 111, saída de terra a oeste	24 K 198439.00 m E 7779321.00 m S	Logo após ponte do ponto 11, entrada de terra a esquerda-oeste
13	Rio Manhuaçu (São João)	MG 111, entrada para São João	24 K 201453.00 m E 7787506.00 m S	Estrada de terra saída a oeste da MG 111 – direção São João
14	Ribeirão Santo Apolinário	Estrada de terra a norte de Santa Filomena	24 K 201453.00 m E 7787506.00 m S	Estrada de terra, saída a oeste da MG 111 – direção São João

(Continuação)

Numeração	Ponto	Descrição	Localização (zona, longitude, latitude)	Observações
15	Rio Manhuaçu (Santo Apolinário)	Estrada de terra a norte de Santa Filomena	24 K 202913.00 m E 7796156.00 m S	Seguir a norte do ponto 13, em Santa Filomena cruzar a ponte, e seguir direção norte
16	Ribeirão Suíço	Oeste de Ipanema e da BR 474	24 K 203725.00 m E 7808129.00 m S	Seguir após o ponto 15 por estrada de terra
17	Rio Manhuaçu (Ipanema)	Saída da BR 474 a norte de Ipanema	24 K 207655.00 m E 7810084.00 m S	10 km a oeste de Ipanema, saída da BR 474, próximo à Fazenda de Pedra
18	Ribeirão Jacutinga	Ponte sobre ribeirão Jacutinga	24 K 202418.00 m E 7825857.00 m S	Seguir cerca de 7km estrada de terra ao norte de Santo Antônio do Manhuaçu
19	Rio Manhuaçu (Jacutinga)	Margem do rio, antes da foz do ribeirão Jacutinga	24 K 202485.00 m E 7825724.00 m S	Idem ponto 18
20	Rio São Manuel (Mutum)	MG 108 norte, trevo de Centenário, 8,6 km sul	24 K 244553.00 m E 7810091.00 m S	Rodovia Altair José Dias, norte de Mutum, bifurcação para Laranjinha e Centenário
21	Rio José Pedro	Ponte sobre o rio, BR 474	24 K 242338.00 m E 7825133.00 m S	Próximo à capela de São Sebastião, entre Assaraí norte e Centenário sul
22	Rio Manhuaçu (Alvarenga)	Beira do rio Manhuaçu	24 K 220208.00 m E 7846040.00 m S	À leste de Alvarenga, no desvio para Barra Mansa
23	Ribeirão Alvarenga	Ponte sobre o ribeirão Alvarenga	24 K 220247.00 m E 7846564.00 m S	Bifurcação entre Alvarenga e Barra Mansa
24	Ribeirão Padre Ângelo	Ponte sobre o ribeirão Padre Ângelo	24 K 222660.00 m E 7850947.00 m S	Ao norte de Barra Mansa por estrada de terra, ponte à direita
25	São Simão	Estrada de terra a 60 km de Tabaúna	24 K 240508.00 m E 7841355.00 m S	Depois de Laurinha e Santana
26	Rio Manhuaçu (Tabaúna)	Ponte na cidade de Tabaúna, a oeste de Aimorés	24 K 257653.00 m E 7842428.00 m S	Ponte na cidade
27	Rio Itueto	Foz para o rio Manhuaçu, 3 km de Tabaúna	24 K 260791.00 m E 7843400.00 m S	Estrada de terra beira rio a leste de Tabaúna
28	Rio Capim	Ponte sobre o rio a noroeste da Vila Conceição do Capim	24 K 265892.00 m E 7835926.00 m S	BR 474, estrada de terra a norte de Conceição do Capim
29	Rio Manhuaçu, foz do rio Doce	Ponte da BR 259	24 K 280126.00 m E 7844376.00 m S	Oeste de Aimorés, cruzamento BR 259 e estrada para Mutum
30	Rio Doce	Beira do rio	24 K 280767.00 m E 7844671.00 m S	Próximo ao ponto 29

Anexo II

Tabela A 2 - Concentração de metais na água – Parte 1.

Ponto	Ba (ug/l)	Be (ug/l)	Cd (ug/l)	Co (ug/l)	Cr (ug/l)	Cu (ug/l)	Li (ug/l)	Mo (ug/l)	Ni (ug/l)	Sc (ug/l)	Sr (ug/l)	Ti (ug/l)	V (ug/l)
1.1	53,70	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	43,91	<LQ	<LQ
1.2	11,42	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8,02	<LQ	<LQ
1.3	18,18	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	18,61	<LQ	<LQ
1.4	31,88	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,48	<LQ	<LQ
1.5	19,47	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17,86	<LQ	<LQ
1.6	18,58	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	15,20	<LQ	<LQ
1.7	16,62	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,35	<LQ	<LQ
1.9	29,48	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	28,37	<LQ	<LQ
1.10	32,75	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	36,50	<LQ	<LQ
1.11	12,07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,88	<LQ	<LQ
1.12	25,04	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,82	<LQ	<LQ
1.13	5,57	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	7,53	<LQ	<LQ
1.14	25,13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,92	<LQ	<LQ
1.15	4,43	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	4,83	<LQ	<LQ
1.16	21,57	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,84	<LQ	<LQ
1.17	14,79	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	19,16	<LQ	<LQ
1.18	12,67	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	14,68	<LQ	<LQ
1.19	33,70	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	32,10	<LQ	<LQ
1.20	24,00	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,23	<LQ	<LQ
1.21	9,60	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9,83	<LQ	<LQ

(Continuação)

Ponto	Ba (ug/l)	Be (ug/l)	Cd (ug/l)	Co (ug/l)	Cr (ug/l)	Cu (ug/l)	Li (ug/l)	Mo (ug/l)	Ni (ug/l)	Sc (ug/l)	Sr (ug/l)	Ti (ug/l)	V (ug/l)
1.22	24,41	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	28,12	<LQ	<LQ
1.23	16,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,15	<LQ	<LQ
1.24	7,49	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,05	<LQ	<LQ
1.25	43,97	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,13	<LQ	<LQ
1.26	26,45	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	22,89	<LQ	<LQ
1.27	64,15	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	62,32	<LQ	<LQ
1.28	63,59	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	28,12	10,121	<LQ
1.29	24,41	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	24,03	<LQ	<LQ
1.30	174	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,97	<LQ	<LQ	<LQ	2,26	40,89	14,92	19,82
2.1	61,95	<LQ	<LQ	<LQ	150	7,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	54,79	<LQ	<LQ
2.2	43,68	<LQ	<LQ	<LQ	21,54	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	28,63	<LQ	<LQ
2.3	20,28	<LQ	<LQ	<LQ	21,71	7,41	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	16,58	<LQ	<LQ
2.4	52,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	29,49	6,529	<LQ
2.5	32,49	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	24,59	<LQ	<LQ
2.6	32,84	<LQ	<LQ	<LQ	83,56	7,88	<LQ	<LQ	<LQ	1,41	11,09	24,058	<LQ
2.7	35,66	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	28,30	<LQ	<LQ
2.8	40,40	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	24,55	18,057	<LQ
2.9	32,42	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	26,98	<LQ	<LQ
2.10	25,07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17,47	<LQ	<LQ
2.11	15,54	<LQ	<LQ	<LQ	118	13,05	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	15,33	<LQ	<LQ
2.12	28,48	<LQ	<LQ	<LQ	19,54	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,09	<LQ	<LQ

(Continuação)

Ponto	Ba (ug/l)	Be (ug/l)	Cd (ug/l)	Co (ug/l)	Cr (ug/l)	Cu (ug/l)	Li (ug/l)	Mo (ug/l)	Ni (ug/l)	Sc (ug/l)	Sr (ug/l)	Ti (ug/l)	V (ug/l)
2.13	29,18	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,66	<LQ	<LQ
2.14	11,28	<LQ	<LQ	<LQ	20,54	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,19	<LQ	<LQ
2.15	26,13	<LQ	<LQ	<LQ	28,05	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	23,51	<LQ	<LQ
2.17	25,41	<LQ	<LQ	<LQ	26,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21,89	<LQ	<LQ
2.19	26,00	<LQ	<LQ	<LQ	45,61	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	20,74	<LQ	<LQ
2.20	62,65	<LQ	<LQ	<LQ	38,11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	32,73	<LQ	<LQ
2.21	52,22	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	27,39	<LQ	<LQ
2.22	30,25	<LQ	<LQ	<LQ	27,77	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	17,34	<LQ	<LQ
2.28	181	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,31	86,41	<LQ	<LQ
2.29	129	<LQ	<LQ	<LQ	738	19,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	48,20	20,47	<LQ
2.30	89,88	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,11	24,36	<LQ	<LQ
LQ	0,480	0,594	6,64	26,3	17,1	5,37	3,66	13,5	37,00	1,02	0,294	5,64	19,2

Tabela A 3- Concentração de metais na água – Parte 2.

Ponto	Y (ug/l)	Zn (ug/l)	As (ug/l)	Pb (mg/l)	Al (ug/l)	Fe (ug/l)	Mn (ug/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)
1.1	<LQ	42,18	<LQ	<LQ	74,12	3844	287	4,23	4,02	1,72	2,87	0,11	0,45
1.2	<LQ	27,37	<LQ	<LQ	24,94	1368	18,61	1,263	1,62	0,182	0,914	0,10	0,36
1.3	<LQ	23,86	<LQ	<LQ	45,75	1725	22,59	2,123	1,19	0,693	1,34	0,09	0,44
1.4	<LQ	20,62	<LQ	<LQ	251	1374	46,29	2,906	2,32	1,02	1,86	0,10	0,56
1.5	<LQ	17,79	<LQ	<LQ	113	1241	53,60	2,093	1,20	0,612	1,31	0,10	0,43
1.6	<LQ	42,11	<LQ	<LQ	21,62	2751	295	2,363	1,64	0,795	2,32	<LQ	0,32
1.7	<LQ	10,10	<LQ	<LQ	157	1028	29,12	1,78	2,37	0,391	1,31	0,10	0,50
1.9	<LQ	66,53	<LQ	<LQ	142	1516	70,38	4,14	2,56	1,21	3,36	0,13	0,88
1.10	<LQ	45,01	<LQ	<LQ	174	2080	179	4,32	2,18	1,81	2,85	0,114	0,58
1.11	<LQ	24,48	<LQ	<LQ	34,76	1153	16,39	2,02	1,61	0,604	1,52	<LQ	0,30
1.12	<LQ	89,28	<LQ	<LQ	281	1133	34,28	3,48	2,83	1,01	2,42	0,11	0,94
1.13	<LQ	20,50	<LQ	<LQ	<LQ	1020	46,01	1,03	0,724	0,254	1,12	<LQ	0,27
1.14	<LQ	41,56	<LQ	<LQ	123	855	25,42	3,66	2,53	1,03	2,42	0,10	1,09
1.15	<LQ	19,00	<LQ	<LQ	<LQ	586	17,12	0,71	0,599	0,171	0,700	0,09	0,25
1.16	<LQ	64,52	<LQ	<LQ	159	1090	38,66	3,84	2,04	1,28	3,45	0,11	1,33
1.17	<LQ	34,32	<LQ	<LQ	84,95	854	53,27	2,45	1,83	0,882	2,24	0,10	0,41
1.18	<LQ	19,21	<LQ	<LQ	77,36	578	17,95	2,10	2,64	0,577	1,55	0,10	0,47
1.19	<LQ	31,28	<LQ	<LQ	48,24	1132	115	4,71	3,88	1,624	4,80	0,15	0,64
1.20	<LQ	25,13	<LQ	<LQ	82,55	603	25,00	3,46	3,46	1,29	3,85	0,11	0,68
1.21	<LQ	9,87	<LQ	<LQ	72,52	378	14,20	1,29	1,04	0,328	0,94	0,09	0,35
1.22	<LQ	15,92	<LQ	<LQ	162	1508	65,50	3,68	2,79	1,530	3,86	0,10	0,46

(Continuação)

Ponto	Y (ug/l)	Zn (ug/l)	As (ug/l)	Pb (mg/l)	Al (ug/l)	Fe (ug/l)	Mn (ug/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)
1.23	<LQ	56,06	<LQ	<LQ	267	1412	50,32	1,33	1,26	0,381	1,93	0,10	0,39
1.24	<LQ	25,98	<LQ	<LQ	164	1365	79,41	1,66	2,41	1,11	2,34	<LQ	0,87
1.25	3,177	43,74	<LQ	<LQ	999	1843	82,23	3,09	3,13	1,09	2,99	0,11	0,95
1.26	<LQ	69,61	<LQ	<LQ	65,51	851	32,42	3,40	2,43	0,875	4,02	0,10	0,46
1.27	<LQ	37,29	<LQ	<LQ	60,61	928	136	9,62	5,69	4,44	10,65	0,12	0,93
1.28	4,237	36,01	<LQ	<LQ	752	2761	239	3,66	2,64	1,47	3,37	0,12	0,70
1.29	<LQ	37,67	<LQ	<LQ	154	1161	34,24	3,35	2,54	1,03	2,56	0,12	0,86
1.30	15,77	86,93	<LQ	<LQ	1975	10650	1893	6,16	4,29	1,81	7,10	0,14	1,88
2.1	<LQ	30,31	<LQ	<LQ	203	5368	212	5,92	4,10	2,17	3,32	0,18	6,24
2.2	<LQ	39,37	<LQ	<LQ	91,83	1512	11,89	15,80	2,54	1,38	2,51	0,12	2,20
2.3	<LQ	10,47	<LQ	<LQ	161	1241	19,99	1,76	1,38	0,624	1,30	0,11	1,42
2.4	<LQ	20,09	<LQ	<LQ	405	1798	189	3,98	2,43	1,32	2,41	0,11	1,25
2.5	<LQ	10,04	<LQ	<LQ	183	1746	56,12	2,96	2,41	1,02	2,12	0,12	1,03
2.6	4,50	28,98	<LQ	<LQ	1632	3014	176	1,71	3,77	0,60	2,33	0,14	4,60
2.7	<LQ	25,55	<LQ	<LQ	251	2181	119	5,09	4,31	1,37	3,38	0,13	1,22
2.8	<LQ	78,53	<LQ	<LQ	404	1616	71,90	4,68	4,12	1,31	2,83	0,10	0,58
2.9	<LQ	7,51	<LQ	<LQ	258	1629	33,90	4,10	3,53	1,14	2,51	0,14	1,51
2.10	<LQ	8,25	<LQ	<LQ	303	1151	52,85	2,01	1,82	0,786	1,56	0,10	0,61
2.11	<LQ	44,44	<LQ	<LQ	189	1865	25,47	2,53	3,30	0,740	2,23	0,14	3,75
2.12	<LQ	7,68	<LQ	<LQ	217	1622	53,55	3,20	3,14	1,02	2,31	0,12	1,28
2.13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	215	1366	39,04	3,68	3,39	1,13	2,62	0,13	1,69
2.14	<LQ	38,19	<LQ	<LQ	134	1698	47,47	1,78	1,97	0,573	2,31	<LQ	1,11
2.15	<LQ	8,91	<LQ	<LQ	170	1255	30,75	3,31	3,12	1,09	2,67	0,12	1,73

(Continuação)

Ponto	Y (ug/l)	Zn (ug/l)	As (ug/l)	Pb (mg/l)	Al (ug/l)	Fe (ug/l)	Mn (ug/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)
2.17	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	199	1514	57,51	3,15	3,11	1,04	2,47	0,12	1,67
2.19	<LQ	30,17	<LQ	<LQ	434	1298	37,15	3,10	4,05	0,983	2,39	0,14	2,58
2.20	<LQ	14,34	<LQ	<LQ	428	2792	88,56	4,10	5,30	1,62	3,48	0,16	2,33
2.21	<LQ	18,43	<LQ	<LQ	473	2512	90,32	3,75	5,22	1,47	3,04	0,14	1,26
2.22	<LQ	27,30	<LQ	<LQ	352	1322	61,25	2,48	3,50	0,847	2,19	0,10	1,35
2.28	5,87	8,35	<LQ	<LQ	886	2296	181	13,19	8,54	8,13	12,55	0,35	4,16
2.29	3,75	62,75	<LQ	<LQ	1489	1142	162	6,72	7,99	1,559	7,41	0,39	27,87
2.30	7,63	8,27	<LQ	<LQ	1255	2542	167	3,30	4,46	1,44	3,45	0,12	1,32
LQ	2,74	6,21	104	181	10,9	7,04	2,28	0,022	0,171	0,020	0,048	0,092	0,115

Anexo III

Tabela A 4 - Concentração de metais, em mg/kg, nos sedimentos – Parte 1.

Ponto	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Mn
1.1	<LQ	53,47	<LQ	<LQ	2,65	32,35	6,39	<LQ	<LQ	4,61	8,40	14,28	5,92	84,28	2,70	28,87	<LQ	221,43
1.2	<LQ	32,81	<LQ	<LQ	5,44	69,74	17,06	<LQ	<LQ	10,61	11,05	3,74	<LQ	90,12	3,74	116,86	<LQ	539,46
1.3	<LQ	26,44	<LQ	<LQ	1,96	66,92	7,36	<LQ	<LQ	4,94	6,88	2,75	<LQ	51,75	0,90	16,05	<LQ	172,93
1.4	<LQ	75,41	<LQ	<LQ	5,45	54,13	10,45	<LQ	<LQ	7,39	6,62	5,36	4,95	60,23	4,22	42,54	<LQ	398,99
1.5	<LQ	38,29	<LQ	<LQ	2,16	43,99	6,30	2,18	<LQ	3,62	6,26	4,60	9,82	51,84	3,36	32,95	<LQ	119,94
1.6	<LQ	9,31	<LQ	<LQ	<LQ	8,14	1,58	<LQ	<LQ	<LQ	1,30	0,79	<LQ	9,97	0,33	8,17	<LQ	39,99
1.7	<LQ	101,11	<LQ	<LQ	8,55	41,85	10,22	10,61	<LQ	9,12	5,64	4,76	6,82	47,04	6,72	66,01	0,45	714,40
1.9	<LQ	122,53	<LQ	<LQ	9,92	52,43	12,96	6,52	<LQ	9,27	8,42	9,01	8,69	73,19	6,98	90,97	0,28	1699,18
1.10	<LQ	101,26	<LQ	<LQ	8,03	56,79	12,06	4,22	<LQ	8,95	9,23	7,38	6,23	76,71	6,49	42,27	0,16	768,54
1.11	<LQ	5,20	<LQ	<LQ	<LQ	5,26	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,47	0,90	<LQ	6,72	0,41	6,52	<LQ	28,28
1.12	<LQ	20,10	<LQ	<LQ	2,50	71,96	3,06	<LQ	<LQ	<LQ	5,18	1,22	<LQ	23,67	1,55	13,71	0,36	303,79
1.13	<LQ	39,98	<LQ	<LQ	4,09	10,87	3,05	11,08	<LQ	<LQ	2,54	2,41	<LQ	20,67	2,98	46,51	0,23	230,31
1.14	<LQ	5,36	<LQ	<LQ	<LQ	2,25	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,26	0,90	<LQ	3,77	<LQ	4,15	<LQ	126,16
1.15	<LQ	9,31	<LQ	<LQ	<LQ	15,16	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,86	1,19	<LQ	6,12	0,27	9,72	<LQ	115,64
1.17	<LQ	4,84	<LQ	<LQ	<LQ	2,68	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,29	1,17	<LQ	3,76	<LQ	6,04	<LQ	31,75
1.18	<LQ	14,87	<LQ	<LQ	1,68	34,23	7,38	<LQ	<LQ	<LQ	4,08	2,06	<LQ	30,05	0,85	14,14	<LQ	73,18
1.19	<LQ	16,70	<LQ	<LQ	<LQ	8,83	1,41	<LQ	<LQ	<LQ	1,00	1,89	<LQ	9,36	0,71	14,69	<LQ	81,23
1.20	<LQ	62,71	<LQ	<LQ	3,78	18,67	4,12	5,21	<LQ	3,30	3,06	3,71	4,84	29,30	3,89	34,50	0,27	428,12
1.21	<LQ	10,12	<LQ	<LQ	<LQ	8,82	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,61	1,11	<LQ	5,99	0,66	7,88	<LQ	66,70
1.22	<LQ	9,33	<LQ	<LQ	<LQ	5,87	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,49	1,05	<LQ	4,42	0,24	7,57	<LQ	70,43

(Continuação)

Ponto	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Mn
1.23	<LQ	12,61	<LQ	<LQ	<LQ	3,93	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,38	1,13	<LQ	4,94	0,38	7,31	<LQ	85,32
1.24	<LQ	14,33	<LQ	<LQ	<LQ	4,70	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,37	1,31	<LQ	2,14	0,66	7,51	<LQ	131,97
1.25	<LQ	8,56	<LQ	<LQ	<LQ	15,24	2,65	<LQ	<LQ	<LQ	1,94	1,44	<LQ	18,33	0,80	24,27	<LQ	57,35
1.26	<LQ	24,15	<LQ	<LQ	1,96	9,62	2,18	2,58	<LQ	3,16	1,06	1,68	<LQ	10,04	1,49	16,81	<LQ	86,01
1.7	<LQ	19,45	<LQ	<LQ	<LQ	1,88	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,02	1,88	<LQ	9,24	1,82	13,84	<LQ	124,15
1.8	<LQ	36,74	<LQ	<LQ	<LQ	4,38	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,57	2,23	<LQ	6,60	0,94	12,29	<LQ	341,06
1.9	<LQ	30,10	<LQ	<LQ	1,74	10,22	2,49	2,45	<LQ	<LQ	1,30	2,43	<LQ	12,06	2,25	18,34	<LQ	91,97
1.30	<LQ	88,58	<LQ	<LQ	5,69	24,82	7,64	8,50	<LQ	13,25	2,32	4,00	<LQ	23,03	2,78	30,55	0,17	479,30
2.1	<LQ	79,75	<LQ	<LQ	5,23	48,80	9,39	<LQ	<LQ	8,31	9,01	12,55	<LQ	82,53	4,19	31,63	<LQ	559,78
2.2	<LQ	32,68	<LQ	<LQ	1,83	24,33	3,70	<LQ	<LQ	5,52	2,94	2,97	<LQ	27,22	2,23	14,50	0,16	44,40
2.3	<LQ	35,50	<LQ	<LQ	1,99	38,50	4,62	<LQ	<LQ	5,00	4,66	2,33	<LQ	33,77	1,07	18,20	<LQ	188,61
2.4	<LQ	70,00	<LQ	<LQ	5,41	47,53	9,47	2,11	<LQ	8,94	6,62	4,56	6,70	55,36	3,89	30,27	<LQ	380,70
2.5	<LQ	36,66	<LQ	<LQ	2,44	39,43	6,16	<LQ	<LQ	5,43	3,50	2,66	<LQ	31,53	1,77	21,12	<LQ	104,92
2.6	<LQ	15,46	<LQ	<LQ	3,23	10,71	1,91	3,41	<LQ	<LQ	2,02	1,99	<LQ	19,24	0,87	12,12	<LQ	382,95
2.7	<LQ	4,92	<LQ	<LQ	<LQ	6,36	1,29	<LQ	<LQ	<LQ	0,34	1,13	<LQ	3,47	0,32	5,90	<LQ	25,57
2.8	<LQ	18,02	<LQ	<LQ	<LQ	2,56	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,94	2,34	<LQ	7,05	1,61	15,94	<LQ	131,27
2.9	<LQ	43,17	<LQ	<LQ	3,20	35,04	5,83	6,15	<LQ	4,64	6,22	8,16	10,56	43,84	5,33	31,77	0,23	203,86
2.10	<LQ	45,30	<LQ	<LQ	3,00	28,81	4,58	<LQ	<LQ	4,79	3,65	3,48	<LQ	30,66	2,45	25,06	<LQ	269,03
2.11	<LQ	6,65	<LQ	<LQ	<LQ	45,80	1,24	<LQ	<LQ	<LQ	1,44	1,25	4,97	17,09	1,09	6,40	<LQ	55,20
2.12	<LQ	28,51	<LQ	<LQ	1,90	13,63	3,21	2,67	<LQ	3,29	1,87	2,69	<LQ	15,83	1,82	18,55	0,15	162,55
2.13	<LQ	76,25	<LQ	<LQ	5,14	34,00	7,49	5,80	<LQ	6,94	5,61	6,65	7,16	42,30	4,14	30,27	0,29	637,53
2.14	<LQ	4,52	<LQ	<LQ	<LQ	11,56	1,33	<LQ	<LQ	<LQ	0,89	1,15	<LQ	7,03	<LQ	3,81	<LQ	55,98
2.15	<LQ	21,36	<LQ	<LQ	1,83	11,39	2,10	<LQ	<LQ	<LQ	1,58	1,81	<LQ	13,70	1,35	14,29	<LQ	208,98

(Continuação)

Ponto	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Be	Mn
2.17	<LQ	10,64	<LQ	<LQ	<LQ	6,86	<LQ	<LQ	1,86	4,09	0,68	1,16	<LQ	5,89	0,35	7,71	<LQ	46,27
2.19	<LQ	79,92	<LQ	<LQ	8,61	41,90	16,64	4,67	<LQ	9,07	7,39	26,06	6,84	61,06	6,82	47,53	0,28	730,06
2.20	<LQ	15,52	<LQ	<LQ	<LQ	6,38	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,69	1,81	5,46	6,82	2,38	10,61	<LQ	68,06
2.21	<LQ	20,35	<LQ	<LQ	<LQ	4,11	<LQ	2,90	<LQ	<LQ	1,11	1,78	<LQ	11,15	2,16	10,71	<LQ	63,81
2.22	<LQ	28,44	<LQ	<LQ	2,05	14,98	2,38	2,74	<LQ	7,95	1,87	2,06	<LQ	13,36	1,42	12,84	<LQ	121,18
2.28	<LQ	8,18	<LQ	<LQ	<LQ	2,09	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,34	<LQ	2,70	0,34	10,48	<LQ	27,82
2.29	<LQ	47,62	<LQ	<LQ	2,70	13,46	4,55	3,07	<LQ	3,50	1,74	3,33	5,46	17,16	3,42	19,86	0,16	306,27
2.30	12,90	123,92	<LQ	<LQ	9,78	55,20	15,41	8,57	<LQ	17,70	5,92	8,12	11,36	53,48	9,14	54,79	0,56	1380,10
LQ	7,58	0,55	4,90	0,49	1,56	1,08	1,23	2,09	1,22	3,02	0,25	0,30	4,44	0,63	0,19	0,31	0,14	5,55

Tabela A 5 - Concentração de metais, em mg/kg, nos sedimentos – Parte 2.

Ponto	Sb	Al	Fe	Ca	K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Si	Ti
1.1	<LQ	36137,27	45068,21	937,48	165,79	390,52	207,88	3,88	<LQ	698,89	275,69	190,75	520,52
1.2	<LQ	24496,12	51676,94	433,54	136,00	260,59	135,34	3,95	8,47	400,35	306,03	68,86	237,31
1.3	<LQ	11687,36	31786,69	348,03	45,43	117,47	181,93	4,31	<LQ	188,46	143,10	224,58	158,73
1.4	<LQ	15487,17	35548,36	733,31	847,04	1034,26	220,70	3,68	<LQ	395,60	191,27	258,69	578,59
1.5	<LQ	16861,89	32470,08	1234,88	1087,41	873,18	172,33	4,56	<LQ	331,47	165,22	178,50	464,53
1.6	<LQ	2704,61	6824,22	180,75	331,80	329,00	144,99	3,41	<LQ	54,28	72,15	68,04	128,81
1.7	<LQ	16852,70	36035,43	664,83	2292,15	2392,36	194,76	3,81	10,88	455,67	230,25	95,13	764,63
1.9	<LQ	22717,71	58626,74	1212,83	1731,67	1728,29	145,48	3,78	14,78	812,65	362,09	107,34	731,90
1.10	<LQ	24428,56	52203,92	874,69	1786,51	1790,25	198,08	4,00	9,07	534,64	267,63	229,02	912,07
1.11	<LQ	1185,92	5943,63	210,67	185,52	204,18	135,90	3,52	<LQ	29,70	42,89	188,72	193,90
1.12	<LQ	4317,89	17483,96	222,34	29,45	76,79	177,92	3,46	81,87	379,12	54,72	155,53	40,96
1.13	<LQ	11728,96	18458,58	297,72	1470,81	1431,38	164,02	3,98	7,59	119,45	104,02	116,10	453,34
1.14	<LQ	890,86	2321,27	197,68	29,72	53,32	156,34	3,54	<LQ	23,79	41,32	167,39	23,41
1.15	<LQ	2424,99	5048,25	279,79	141,10	140,79	146,42	3,48	<LQ	81,94	50,46	239,81	47,79
1.17	<LQ	1591,26	2908,33	311,34	88,63	98,39	178,88	3,20	<LQ	49,62	41,75	<LQ	21,56
1.18	<LQ	7149,12	20391,11	256,40	375,82	358,91	181,69	4,23	<LQ	132,18	71,68	260,26	289,50
1.19	<LQ	2418,02	7075,77	317,02	313,88	355,56	201,61	3,41	<LQ	76,02	54,35	163,03	134,53
1.20	<LQ	7973,26	24489,67	598,34	1330,78	1299,13	173,84	3,56	<LQ	326,38	160,18	220,19	433,91
1.21	<LQ	1082,60	4281,19	247,43	198,99	195,19	127,47	3,35	<LQ	54,00	45,04	209,06	67,08
1.22	<LQ	876,32	3142,97	231,20	220,99	190,23	154,49	3,25	<LQ	36,01	38,69	75,21	56,90
1.23	<LQ	865,56	3125,10	230,47	341,30	355,94	130,15	3,34	<LQ	42,64	34,46	96,09	84,65
1.24	<LQ	1089,29	2541,49	215,84	214,38	146,15	169,67	3,38	<LQ	14,13	40,62	103,47	45,14

(Continuação)

Ponto	Sb	Al	Fe	Ca	K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Si	Ti
1.25	<LQ	2984,09	11981,98	323,50	193,69	212,58	195,47	4,21	<LQ	74,62	76,76	211,20	127,88
1.26	<LQ	3371,11	7878,39	323,64	791,61	735,36	143,12	3,60	<LQ	60,54	58,54	190,15	225,87
1.7	<LQ	3545,80	6920,20	417,50	542,24	396,19	163,81	3,63	<LQ	46,12	62,28	211,99	158,30
1.8	<LQ	1263,41	6622,44	347,67	502,50	451,64	216,93	3,29	<LQ	75,85	134,06	109,44	115,42
1.9	<LQ	3934,71	11197,98	487,88	812,32	751,97	193,57	3,67	<LQ	86,81	84,79	196,69	288,39
1.30	<LQ	5857,43	37314,39	479,58	3038,87	2274,49	145,87	4,05	<LQ	162,13	119,08	205,67	703,46
2.1	<LQ	34566,03	57329,29	704,23	225,68	428,23	305,44	3,97	<LQ	723,92	909,85	1729,63	430,92
2.2	<LQ	11445,28	14029,25	311,61	113,87	270,43	368,24	3,98	<LQ	105,67	958,91	76,97	246,73
2.3	<LQ	14871,00	24088,01	375,74	342,62	389,72	316,99	4,39	<LQ	237,20	704,22	57,83	211,34
2.4	<LQ	20183,15	34037,07	537,39	892,14	999,20	302,80	4,25	<LQ	440,26	752,29	91,40	629,37
2.5	<LQ	10442,88	19199,02	393,88	791,47	708,98	346,62	4,00	<LQ	259,61	852,67	125,15	385,88
2.6	<LQ	6969,29	16904,97	238,79	303,23	272,65	256,96	3,75	<LQ	69,23	376,25	15,92	108,27
2.7	<LQ	887,39	2356,27	272,39	146,01	197,77	300,38	3,39	<LQ	23,35	598,94	59,80	29,94
2.8	<LQ	6877,88	6758,62	354,73	505,13	454,88	250,20	4,17	<LQ	51,34	379,79	53,89	166,14
2.9	<LQ	26442,61	30359,02	1882,37	1798,40	1539,31	326,84	6,81	9,23	239,25	809,22	181,26	698,35
2.10	<LQ	14049,24	19494,96	487,46	552,40	648,86	382,24	3,91	<LQ	262,19	976,62	32,79	393,17
2.11	<LQ	2051,48	14790,03	219,26	130,29	134,13	310,02	3,96	<LQ	81,40	677,23	115,02	451,32
2.12	<LQ	6690,21	11522,51	473,92	824,95	786,14	345,73	3,63	<LQ	166,36	986,74	99,93	293,60
2.13	<LQ	22375,51	34975,23	824,71	1410,13	1586,88	300,62	3,94	<LQ	367,77	526,12	88,78	520,17
2.14	<LQ	2356,07	5033,93	208,84	52,06	94,35	310,39	3,78	<LQ	47,74	673,18	57,96	39,07
2.15	<LQ	5330,55	10398,33	292,61	565,06	569,46	318,61	3,42	<LQ	115,71	672,57	134,88	217,95
2.17	<LQ	2108,62	4585,19	212,48	255,71	274,17	307,48	3,51	<LQ	45,88	698,74	70,89	74,34
2.19	<LQ	14092,37	35280,41	5032,58	1644,27	1614,67	358,36	4,09	12,03	468,78	879,98	113,77	701,24

(Continuação)

Ponto	Sb	Al	Fe	Ca	K	Mg	Na	Zr	Pb	P	S	Si	Ti
2.20	<LQ	2405,03	4519,46	339,28	351,02	383,57	338,78	3,65	<LQ	74,11	732,28	144,28	149,11
2.21	<LQ	2457,40	6539,84	279,23	750,02	574,19	282,78	3,54	<LQ	49,07	351,56	65,71	202,37
2.22	<LQ	4189,98	9989,43	298,81	822,05	770,92	232,80	3,52	<LQ	91,84	372,75	44,46	250,28
2.28	<LQ	455,65	1823,90	321,31	183,50	169,11	326,78	3,33	<LQ	17,47	692,26	97,01	34,43
2.29	<LQ	5156,32	32666,42	504,38	1050,99	959,54	298,85	3,86	<LQ	104,45	684,54	60,45	365,35
2.30	7,90	15278,52	120374,32	1032,47	3078,87	2762,91	427,69	4,20	12,68	427,21	988,73	830,19	890,98
LQ	7,50	24,50	7,24	4,28	12,24	3,04	3,49	0,40	7,08	6,93	8,21	8,37	10,75