



ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA ÁGUA E EM
SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Ana Carla Martins Veras

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA ÁGUA E EM
SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Ana Carla Martins Veras

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientadores: Marco Aurélio dos Santos

Aprovada por: Prof. Marco Aurélio dos Santos

Prof. Amaro Olímpio Pereira Junior

Prof. Romildo Dias Toledo Filho

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2020

Veras, Ana Carla Martins

Análise da contaminação por metais pesados na água e em sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce / Ana Carla Martins Veras. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XIV, 137 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Dissertação (mestrado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 126-137.

1. Contaminação. 2. Metais pesados. 3. Água. 4. Sedimentos.
I. Santos, Marco Aurélio dos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.”

-Paulo Freire

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Deus por todo seu imensurável amor e cuidado.

Sou grata aos meus pais, por toda educação e todo amor sempre.

Agradeço à COPPE/UFRJ pela excelência de ensino e estrutura, e ao CNPq e à FAPERJ, pelo apoio em forma de bolsa de estudo.

Ao meu orientador, professor Marco Aurélio, pela paciência, confiança e orientação durante todo o mestrado.

Aos meus amigos do LEREA: Ayr, Marcelo Amorim, Marcelo Di Lello, Teodósio, Thales, Orleno e Rogério. Com os quais eu pude contar durante os projetos nesse último ano, a colaboração deles foi de extrema importância.

Em especial ao Orleno por sua disponibilidade em me ajudar na confecção dos mapas.

Ao Rafael, que está sempre do meu lado. Ele é a pessoa que me inspira a cada dia ser melhor.

Aos meus amigos do PPE: Bruna, Érika e Luiz Bernardo. Agradeço pela amizade e por sempre poder contar com vocês pra vida, e pra qualquer crise acadêmica.

A minha amiga Dani, com quem eu sei que posso contar pra tudo nesse mundo. Sou grata por ter seu carinho e amizade, obrigada por torcer sempre por mim.

A minha amiga Camila, que no mundo, é a pessoa que mais entende de vida acadêmica. Obrigada por me apoiar e por me ajudar diariamente a seguir em frente.

Por último, mas não menos importante, sou grata ao trabalho realizado por toda equipe do PPE, em especial à Sandrinha e ao Paulo, que estão sempre disponíveis pra nos ajudar e de uma forma leve tornam essa vida acadêmica mais fácil.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA ÁGUA E EM SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Ana Carla Martins Veras

Fevereiro/2020

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Programa: Planejamento Energético

A qualidade dos corpos hídricos no Brasil é impactada por diversos fatores como: descarte inadequado de efluente doméstico, efluente industrial, além da contaminação do solo pelo uso de agroquímicos e fertilizantes. Uma das bacias hidrográficas mais antropizadas do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Doce, é objeto de estudo na investigação de contaminantes como os metais pesados. A partir de dados secundários de órgãos ambientais como IGAM, CPRM e IBAMA, foi possível realizar uma análise da contaminação por metais na bacia. Uma investigação da presença dos seguintes elementos: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco, foi realizada na tentativa de relacionar as possíveis fontes da contaminação de metais pesados na bacia. E a partir de comparação com a legislação e com o uso de índices ambientais, foi possível obter uma análise da contaminação por metais na bacia. Para o período que antecede o acidente com a barragem de Fundão, foi identificadas concentrações altas de Ferro e Manganês, em água, principalmente em regiões onde a característica geológica favorece a presença destes metais. Outros elementos como Arsênio, Mercúrio, Cromo, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco, só foram identificados em altas concentrações em água no período pós desastre. Quanto aos dados de sedimentos, este trabalho foi realizado para o período anterior ao acidente em Mariana. Os resultados de sedimentos indicam que além de Ferro, foram identificados metais como Cromo e Níquel associados a extração de Ferro.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF CONTAMINATION OF HEAVY METALS IN WATER AND
SEDIMENTS IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF RIVER DOCE

Ana Carla Martins Veras

February/2020

Advisor: Marco Aurélio dos Santos

Department: Energy Planning

The quality of water resources in Brazil is impacted by several factors such as: inadequate disposal of domestic effluent, industrial effluent, besides to soil contamination by the use of agrochemicals and fertilizers. One of the most anthropized hydrographic basins in Brazil, the Doce River basin, is the object of study in the investigation of contaminants as heavy metals. Based on secondary data from environmental agencies such as IGAM, CPRM and IBAMA, it was possible to make an analysis of metal contamination in the basin. An investigation of the presence of the following elements: Aluminum, Arsenic, Cadmium, Lead, Copper, Chrome, Iron, Manganese, Mercury, Nickel, Selenium and Zinc, was carried out in attempt to list contamination source possible of heavy metal in basin. By comparison with the legislation and using of environmental indexes was possible to get the basin heavy metal analysis. For the period before the accident with the Fundão dam, high concentrations of iron and manganese in water were identified, especially in regions where the geological characteristic favors the presence of these metals. Other elements such as Arsenic, Mercury, Chromium, Cadmium, Copper, Lead and Zinc, were only identified in high concentrations in water after disaster. As for the sediment data, this work was carried out for the period before the accident in Mariana. The sediment results indicate that in addition to iron, metals such as chromium and nickel have been identified in association with iron extraction.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Objetivo Geral.....	4
1.3. Objetivos Específicos.....	4
2. DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	4
2.1. Características Gerais.....	4
2.2. As Sub Bacias do Estado de Minas Gerais.....	7
2.2.1. Bacia Hidrográfica do Rio Piranga	7
2.2.2. Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba	8
2.2.3. Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio	9
2.2.4. Bacia Hidrográfica do rio Suaçuí Grande	9
2.2.5. Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga	10
2.2.6. Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu.....	11
2.3. As Sub Bacias do Estado do Espírito Santo.....	11
2.3.1. Bacia do Rio Guandu	11
2.3.2. Bacia do Santa Maria do Doce	12
2.3.3. Bacia Hidrográfica do Rio São José.....	12
3. RESÍDUOS INDUSTRIAIS – ATIVIDADE E EFLUENTES.....	13
3.1. Atividades Potencialmente Poluidoras na BHRD.....	13
3.2. Efluentes de Atividades Industriais.....	17
3.3. Extração e Tratamento de Minérios	19
3.4. Indústrias Metalúrgica e Mecânica.....	28
3.5. Indústrias de Alimentos e Bebidas	30
3.6. Indústria Química.....	31
3.7. Indústria Têxtil.....	33
3.8. Indústria de Minerais Não – Metálicos	36
3.9. Indústria de Borracha	37
3.10. Indústria de Couros e Peles	38
3.11. Indústria de Madeira.....	39
3.12. Indústria de Papel e Celulose	39
3.13. Indústria de Material Elétrico.....	42
3.14. Saneamento na bacia do rio Doce	44

4. METODOLOGIA	47
4.1. Fonte de Dados.....	47
4.2. Legislação	49
4.2.1. Concentração de metais em água	49
4.2.2. Concentrações de metais em sedimentos	50
4.3. Mapeamento Geoquímico – SGB CPRM	51
4.4. Índices de Avaliação Ambiental em Sedimentos	53
4.4.1. Índice de Geoacumulação	55
4.4.2. Fator de Contaminação.....	57
4.5. Monitoramento da Qualidade da Água na BHRD.....	57
4.5.1. Indicador de Contaminação Por Tóxico.....	61
4.6. Fontes Potencialmente Poluidoras – CTF IBAMA.....	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
5.1. Análise da Contaminação de Metais em Sedimentos na BHRD.....	66
5.2. Análise da Contaminação de Metais em Água na BHRD.....	88
5.2.1. Contaminação por Tóxicos para 2012 na BHRD	88
5.2.2. Contaminação por Tóxicos para 2013 na BHRD	92
5.2.3. Contaminação por Tóxicos para 2014 na BHRD	97
5.2.4. Contaminação por Tóxicos para 2015 na BHRD	101
5.2.5. Contaminação por Tóxicos para 2016 na BHRD	103
5.2.6. Contaminação por Tóxicos para 2017 a 2018 na BHRD	108
5.2.7. Sub-bacia do Rio Piranga (D01)	114
5.2.8. Sub-bacia do Rio Piracicaba (D02)	117
5.2.9. Sub-bacia do Rio Santo Antônio (D03)	119
5.2.10. Sub-bacia do Rio Suaçuí Grande (D04)	120
5.2.11. Sub-bacia do Rio Caratinga (D05)	122
5.2.12. Sub-bacia do Rio Manhuaçu (D06).....	123
6. CONCLUSÕES.....	124
REFERÊNCIAS	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia do Rio Doce	5
Figura 2. As sub-bacias do Rio Doce	6
Figura 3. Modelo Digital de elevação na BHRD.....	7
Figura 4. Fluxograma típico de tratamento de minério	23
Figura 5. Processo de adição de micronutrientes nos fertilizantes básicos	32
Figura 6. Etapas do Processo Produtivo Têxtil Simplificado.....	34
Figura 7. Geração e tratamento de efluentes na indústria têxtil, Alvinópolis, Minas Gerais	35
Figura 8. Fluxograma geral de fonte dos dados e legislação aplicada	48
Figura 9. Fluxograma da análise da contaminação de metais em sedimentos	52
Figura 10. Mapa de localização da amostragem do Projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade na bacia do rio Doce no período de 2009 a 2010	53
Figura 11. Fluxograma da análise da contaminação de metais em água.....	58
Figura 12. Pontos de Monitoramento da Qualidade de Água do IGAM/MG e IEMA/ES	59
Figura 13. Municípios mais populosos da BHRD.....	63
Figura 14. Fluxograma da identificação das atividades potencialmente poluidoras	64
Figura 15. Atividades potencialmente poluidoras na BHRD, segundo o IBAMA 2018	65
Figura 16. Mapa com a distribuição de concentrações de Arsênio em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010	69
Figura 17. Mapa com a distribuição de concentrações de Cromo em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010	73
Figura 18. Mapa com a distribuição de concentrações de Níquel em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010	77
Figura 19. Mapa com a distribuição de concentrações de Alumínio em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010	80
Figura 20. Mapa com a distribuição de concentrações de Ferro em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Sub-bacias do Rio Doce.....	6
Tabela 2. Municípios com mais de 50.000 habitantes.....	14
Tabela 3. Principais atividades econômicas que ocorrem na Bacia	16
Tabela 4. Operações empregadas para os diferentes tipos de contaminantes existentes nos efluentes industriais	18
Tabela 5. Características das águas residuais de circuitos de flotação. Concentrações de	21
Tabela 6. Processos de tratamento de efluentes líquidos na mineração	24
Tabela 7. Resultado da composição química do RSRO	26
Tabela 8. Composição química média, em porcentagem, de resíduos de rochas ornamentais.....	27
Tabela 9. Processos de fabricação onde são gerados resíduos, sua quantidade e classificação.....	29
Tabela 10. Parâmetros no tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose e comparação com a resolução CONAMA nº 430.....	41
Tabela 11. Índice de atendimento de tratamento de esgoto na bacia do rio Doce.....	46
Tabela 12. Limites de concentração de metais em água para a classe 2 definido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.....	50
Tabela 13. Resolução CONAMA nº 454/2012 - Níveis de classificação do material a ser dragado	51
Tabela 14. Valores de background para sedimentos da sub-bacia Rio Gualaxo do Norte	55
Tabela 15. Valores considerados backgrounds para rochas sedimentares	55
Tabela 16. Classificação dos sedimentos quanto ao índice de Geoacumulação – IGEO56	
Tabela 17. Classificação dos sedimentos quanto ao Fator de Contaminação	57
Tabela 18. Lista de Parâmetros Monitorados pelo IGAM.....	60
Tabela 19. Classes da Contaminação por Tóxicos e seus significados (IGAM, 2014)..	62
Tabela 20. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2012.....	89
Tabela 21. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2012	89
Tabela 22. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2012.....	90
Tabela 23. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2012	90
Tabela 24. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2012	91
Tabela 25. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2013.....	92
Tabela 26. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2013	93
Tabela 27. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2013.....	94
Tabela 28. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2013	95
Tabela 29. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2013	96
Tabela 30. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2013	96

Tabela 31. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2014.....	97
Tabela 32. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2014	98
Tabela 33. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2014.....	99
Tabela 34. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2014	100
Tabela 35. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2014	100
Tabela 36. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2014	100
Tabela 37. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2015.....	101
Tabela 38. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2015	102
Tabela 39. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2015.....	102
Tabela 40. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2015	102
Tabela 41. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2015	103
Tabela 42. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2015	103
Tabela 43. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2016.....	104
Tabela 44. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2016	105
Tabela 45. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2016.....	105
Tabela 46. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2016	106
Tabela 47. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2016	107
Tabela 48. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2016	107
Tabela 49. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2017 e 2018.....	109
Tabela 50. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2017 e 2018.....	110
Tabela 51. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2017 e 2018	110
Tabela 52. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2017 e 2018	111
Tabela 53. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2017 e 2018.....	112
Tabela 54. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2017 e 2018	113
Tabela 55. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Piranga	114
Tabela 57. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Piracicaba	117
Tabela 58. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Santo Antônio	119
Tabela 59. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Suaçuí Grande	120
Tabela 60. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Caratinga	122
Tabela 61. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Manhuaçu.....	123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Arsênio	67
Gráfico 2. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Arsênio	67
Gráfico 3. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Arsênio.....	68
Gráfico 4. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Cromo	71
Gráfico 5. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Cromo	71
Gráfico 6. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Cromo	72
Gráfico 7. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Níquel	75
Gráfico 8. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Níquel	75
Gráfico 9. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Níquel	76
Gráfico 10. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Alumínio	78
Gráfico 11. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Alumínio	79
Gráfico 12. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Cobre	81
Gráfico 13. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Cobre.....	82
Gráfico 14. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Ferro	83
Gráfico 15. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Ferro.....	83
Gráfico 16. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Chumbo	85
Gráfico 17. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Chumbo	86
Gráfico 18. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Zinco	87
Gráfico 19. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Zinco	87
Gráfico 20. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Mercúrio	88

LISTA DE SIGLAS

ANA: Agência Nacional de Águas
BANDES: Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo
BDMG: Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais
BHRD: Bacia Hidrográfica do Rio Doce
CBH: Comitê de Bacia Hidrográfica
CESAN: Companhia Espírito-santense de Saneamento
COPASA: Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO: Demanda Química de Oxigênio
ETA: Estação de Tratamento de Água
ETE: Estação de Tratamento de Efluente
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas
LEREA: Laboratório de Energias Renováveis e Estudos Ambientais
MME: Ministério de Minas e Energia
OD: Oxigênio Dissolvido
PIB: Produto Interno Bruto
PPE: Programa de Planejamento Energético
QF: Quadrilátero Ferrífero
RMVA: Região Metropolitana do Vale do Aço
RSRO: Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais
SGB: Serviço Geológico do Brasil
STA: Substâncias Tensio Ativas
SST: Sólidos em Suspensão Totais
UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro
UPGRHs: Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Em uma sociedade em constante desenvolvimento, o crescimento econômico, populacional e a urbanização promovem diversas mudanças. Alterações não só nas relações sociais humanas, mas também no meio ambiente como um todo. A contaminação dos ecossistemas tem se tornado uma problemática no Brasil e no mundo à medida que alcançamos maiores níveis de desenvolvimento.

Em especial, a contaminação de ecossistemas aquáticos e de sedimentos associados a eles são um assunto de grande importância atualmente no Brasil, principalmente diante do cenário de acidentes envolvendo barragens de rejeitos de mineração no sudeste do Brasil.

O aumento da concentração de metais pesados contamina o meio aquático e solos. Esses metais se originam a partir de processos litogênicos e/ou atividades antrópicas, como a utilização de fertilizantes em zonas agrícolas e a atividade mineradora (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Processos como o intemperismo e a lixiviação do solo são exemplos de processos naturais que geram aparecimento de metais pesados na água e no solo.

No entanto, atividades como extração e o beneficiamento de metais, rejeitos industriais, efluentes domésticos, insumos agrícolas, descarte de produtos comerciais, queima de combustíveis fósseis e descarte de lodo de esgoto são atividades antrópicas associadas à contaminação do meio ambiente por tais metais (NRIAGU; PACYNA, 1988; ALLEONI *et al.*, 2005; GUILHERME *et al.*, 2005).

Quanto a contaminação por elementos químicos, diversas pesquisas de campo relatam que grande parte dos metais tóxicos encontrados em ambientes fluviais são de origem antropogênica, como por exemplo pesquisas realizadas no Quadrilátero Ferrífero (MATSCHULLAT *et al.*, 2000; COSTA *et al.*, 2006; DESCHAMPS & MATSCHULLAT, 2007; PARRA *et al.*, 2007; MENESES; RENGER; DESCHAMPS, 2011; MENDONÇA, 2012; VICQ, 2015).

A intensa atividade de extração mineral em Minas Gerais vem ao longo dos anos modificando o meio ambiente da região, uma vez que essa atividade gera uma grande quantidade de resíduos, que devem ser geridos adequadamente para diminuir os impactos ambientais dessa atividade.

A cidade de Mariana faz parte do Quadrilátero Ferrífero, região de intensa atividade mineradora, onde, em novembro de 2015, em suas proximidades ocorreu o rompimento da barragem de contenção de rejeitos da mineradora Samarco, contaminando o solo, os sedimentos de corrente e as águas de uma extensa área da bacia do rio Doce.

O desastre com a barragem da Samarco, na época, foi considerado o maior em termos socioambientais da história do Brasil (ESCOBAR, 2015; SILVA *et al.*, 2015; ESPINDOLA *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2016; LEONARDO *et al.*, 2017) pois afetou, de forma direta ou indireta, aproximadamente 1,4 milhão de pessoas de 40 municípios, sendo 36 no estado de Minas Gerais e 4 no Espírito Santo (IBAMA, 2019; PINTO-COELHO, 2015; SILVA *et al.*, 2015; ESPINDOLA *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2016).

A barragem de Fundão que se localiza no município de Bento Rodrigues, e é propriedade da Samarco (BHP Billiton e Companhia Vale S.A), continha 50 milhões de m³ de rejeitos de mineração de ferro, continha resíduo classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês conforme NBR 10.004 (IBAMA, 2015).

O volume de rejeitos lançados com o rompimento da barragem de Fundão foi transportado pelo rio por aproximadamente 663,2 km, desde a barragem de Fundão em Minas Gerais até o oceano Atlântico no estado do Espírito Santo, onde, ao longo de 17 dias, se depositou pelo caminho em diferentes concentrações (PINTO-COELHO, 2015; FERNANDES *et al.*, 2016).

De acordo com a ANA (2016) o curso d'água principal da bacia do rio Doce percorre 888 km desde a nascente do rio Xopotó até sua foz no Oceano Atlântico localizada no município de Linhares no Espírito Santo.

O rio recebe esse nome a partir da confluência dos rios Piranga e do Carmo, entre as cidades de Ponte Nova, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado em Minas Gerais (ANA, 2016).

Os recursos hídricos da bacia do rio Doce desempenham um papel fundamental na economia do leste mineiro e do noroeste capixaba (ANA, 2016). Em sua extensão, a bacia do rio Doce tem várias atividades econômicas sendo desenvolvidas. As principais são relacionadas à mineração, agropecuária, suinocultura e indústria alimentícia (SANTOLIN, 2015).

A atividade de mineração inclui a exploração de ferro, alumínio, berilo, crisoberilo, mica e feldspato, além de atividades de garimpo de ouro. Indústrias metalúrgicas são encontradas na bacia, assim como atividades de silvicultura (IGAM, 2010a; b).

Atividades como mineração, aterros industriais e sanitário, aplicação de fertilizantes que causam contaminação nos solos, associada ao lançamento de esgotos industriais e sanitários nas águas, tem causado grandes impactos negativos à BHRD, sendo um dos principais a introdução de metais pesados no meio aquático (SANTOLIN, 2015).

É possível verificar que há contaminação por metais nos corpos hídricos da região mineira através de programas de monitoramento da qualidade da água, que estão sendo realizados ao longo dos anos por diversos órgãos ambientais, como os realizados pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas; pelo IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; pela ANA - Agência Nacional de Águas, além de pesquisas e acompanhamentos realizados pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, além de diversos trabalhos científicos publicados ao longo dos anos.

Considerando que a qualidade da água e dos sedimentos é de grande importância para o desenvolvimento econômico e social, uma avaliação ambiental contemplando os resultados de concentrações de metais ao longo de toda Bacia Hidrográfica do Rio Doce - BHRD é de grande relevância.

A equipe do Laboratório de Energias Renováveis e Estudos Ambientais - LEREA/COPPE, através da Fundação COPPETEC, realizou em 2016 um trabalho para a Vale, sobre conformidades de amostras de sedimentos na calha dos rios impactado, e na foz do rio Doce, pelo evento com rompimento da barragem da Samarco em Mariana. O relatório fruto desse projeto, verificou a conformidade dos seguintes elementos: Alumínio, Arsênio, Manganês, Selênio, Cádmio, Chumbo, Níquel e Zinco.

Em 2018, a equipe do LEREA, concluiu um projeto de diagnóstico inicial da situação dos níveis de metais pesados, na água e em sedimentos das calhas de rios não impactados pelo acidente da barragem de Fundão.

O presente trabalho foi motivado por esses projetos no Laboratório de Energias Renováveis e Estudos Ambientais - LEREA. Porém, os dados obtidos durante a pesquisa junto ao LEREA são confidenciais e não foram utilizados na análise a que se destina esta pesquisa.

1.2. Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo principal, a partir de dados secundários de órgãos ambientais, elaborar uma análise da contaminação por metais pesados na bacia hidrográfica do rio Doce, através de dados de concentração dos seguintes elementos: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Zinco (Zn).

1.3. Objetivos Específicos

Para a análise da contaminação por metais pesados na bacia do rio Doce, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, serão necessários atingir os seguintes objetivos:

- Avaliação ambiental da contaminação de metais em sedimentos, através do uso de índices ambientais sugeridos na literatura: Índice de Geoacumulação e Fator de Contaminação, aplicados aos resultados de metais em sedimentos nos dados disponíveis pela CPRM (2016).
- Avaliação ambiental da contaminação de metais em água através do Indicador de Contaminação por Tóxico, sugerido pelo IGAM, nos dados de concentração de metais em água na bacia do rio Doce obtidos no IGAM (2018).
- Identificar fontes antropogênicas associadas à contaminação por metais na região da bacia, através do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras do IBAMA (2018).

2. DESCRIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

2.1. Características Gerais

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce – BHRD possui uma área de drenagem de aproximadamente 86.715 km², com cerca de 86% do seu território no Estado de Minas Gerais e em menor proporção, 14%, no estado do Espírito Santo (CBH-DOCE, 2019) (Figura 1), 98% de sua área está inserida no bioma de Mata Atlântica e os 2% restantes em área de Cerrado.

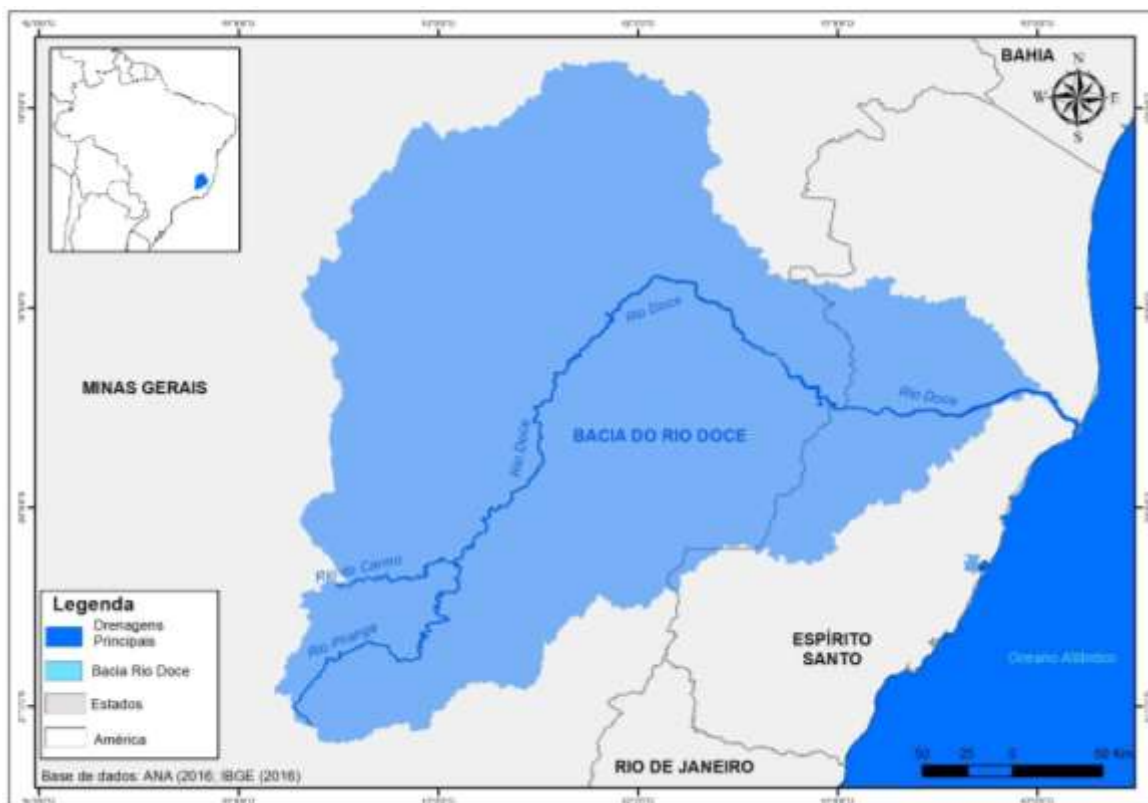


Figura 1. Localização da bacia do Rio Doce

Fonte: Elaboração própria

Os principais afluentes do rio Doce pela margem esquerda são os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande e Suaçuí Grande, em Minas Gerais; São José e Pancas no Espírito Santo. Já pela margem direita são os rios Piranga, Casca, Matipó, Caratinga e Manhuaçu em Minas Gerais; Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Rio Doce no Espírito Santo (IGAM, 2010).

A BHRD em Minas Gerais, é subdividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), às quais correspondem as seguintes sub-bacias e seus respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs): Rio Piranga (DO1), Rio Piracicaba (DO2), Rio Santo Antônio (DO3), Rio Suaçuí (DO4), Rio Caratinga (DO5), Rio Manhuaçu (DO6).

No Espírito Santo, não há subdivisões administrativas, existindo CBHs dos Guandu, Santa Joana, Santa Maria do Doce, Pontões e Lagoas do Rio Doce e Barra Seca e Foz do Rio Doce (CBH-DOCE, 2019).

A Bacia do Rio São José, para efeitos de gestão, foi englobada área ao norte a bacia do rio Barra Seca, dando uma nova configuração à BHRD. As duas bacias com maior extensão territorial são as do Rio Suaçuí Grande e Piranga, ambas na no estado de Minas Gerais (Tabela 1 e Figura 2).

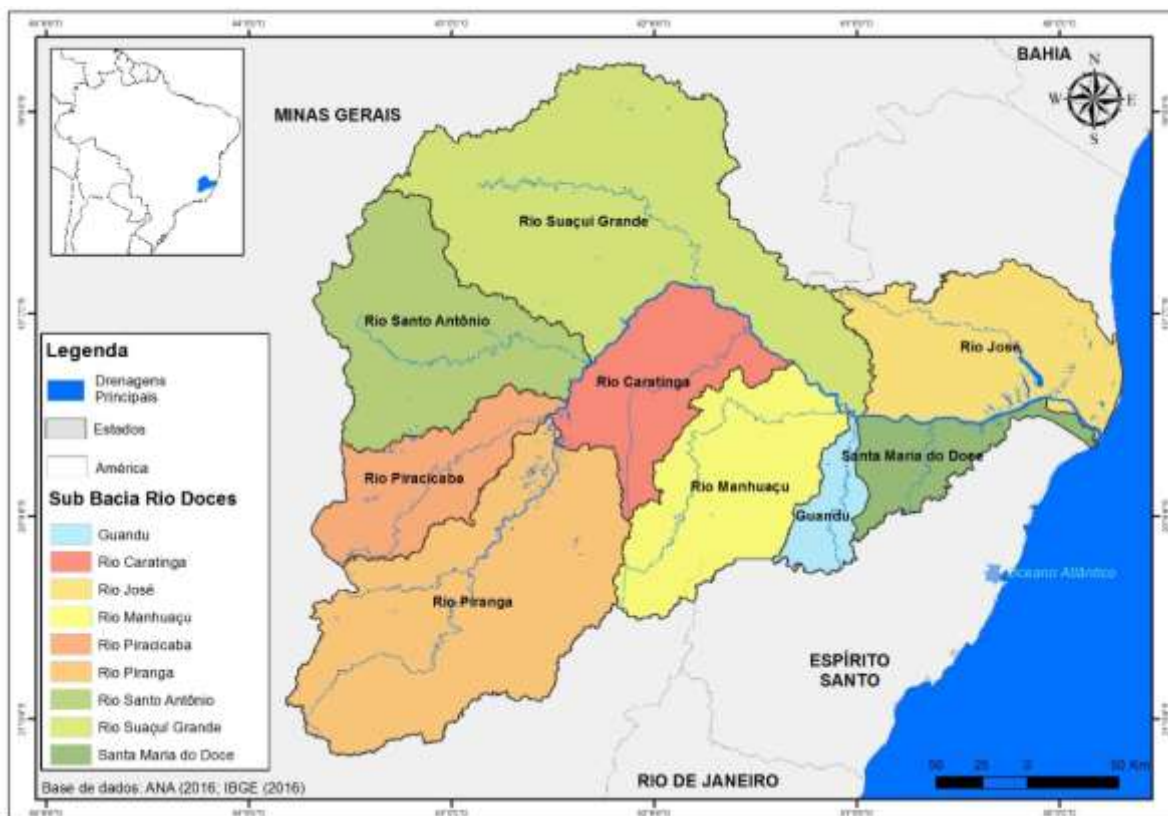


Figura 2. As sub-bacias do Rio Doce

Fonte: Elaboração própria

Tabela 1. Sub-bacias do Rio Doce

Número	Nome da Sub Bacia	%
1	Suaçuí Grande	27,01
2	Santo Antônio	13,16
3	Piracicaba	7,13
4	Piranga	22,02
5	Caratinga	8,52
6	Manhuaçu	11,54
7	Rio São José	6,89
8	Guandu	2,56
9	Santa Maria do Doce	1,17

Fonte: Elaborado a partir de CBH-DOCE, 2019

A BHRD tem altitudes que variam do nível do mar, principalmente na parte leste da bacia (Zona Costeira), até elevadas altitudes que se concentram nas Serras do Espinhaço e Mantiqueira, a oeste da bacia (Figura 3).

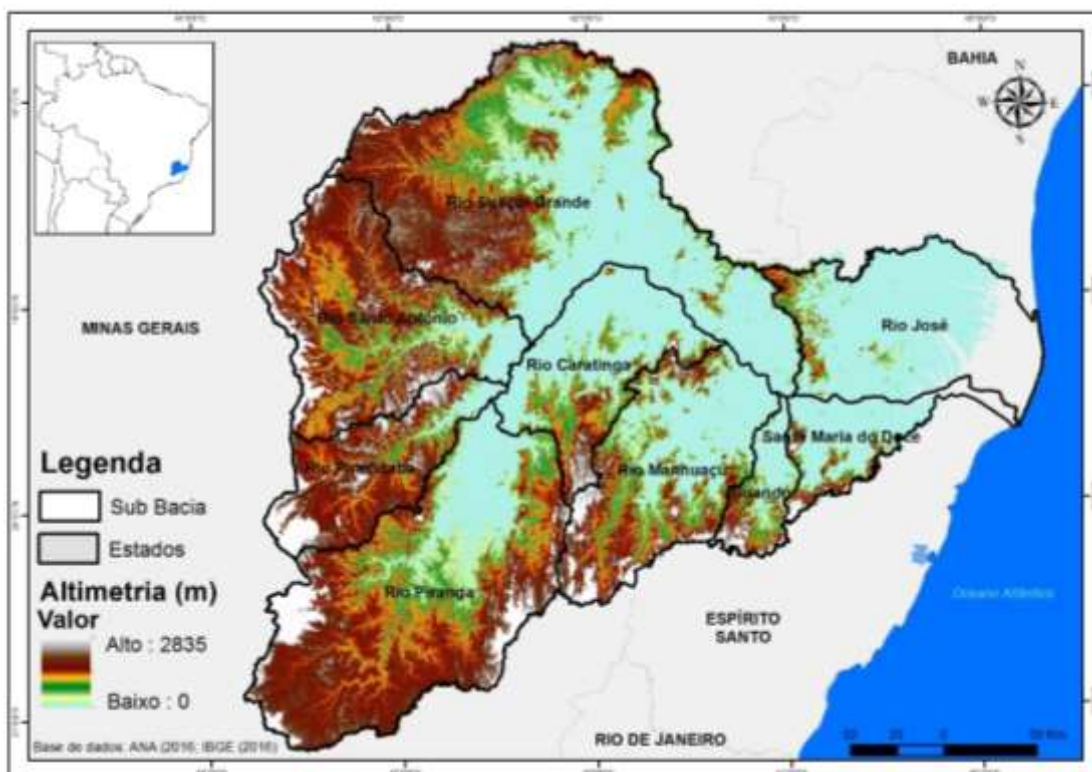


Figura 3. Modelo Digital de elevação na BHRD

Fonte: Elaboração própria

A população da bacia do rio Doce, segundo dados do CBH-DOCE (2019), é estimada em torno de 3,5 milhões de habitantes e está distribuída em 228 municípios, sendo 200 mineiros e 28 capixabas. E de acordo com dados do CBH-DOCE de 2007, mais de 85% desses municípios têm até 20 mil habitantes e cerca de 73% da população total da bacia concentra-se na área urbana,

Nos municípios com até 10 mil habitantes, 47,75% da população vive na área rural (IBGE, 2010).

2.2. As Sub Bacias do Estado de Minas Gerais

2.2.1. Bacia Hidrográfica do Rio Piranga

A Bacia do rio Piranga se estende por cerca de 17.600 km², é composta pelas bacias hidrográficas do rio Piranga propriamente dita, que ocupa uma área de 6.606 km², pela bacia hidrográfica do rio do Carmo, com área de 2.278 km², pela bacia do rio Casca, com área de 2.510 km² e pela bacia hidrográfica do rio Matipó, com 2.550 km² (IGAM, 2010a).

As áreas destas bacias hidrográficas são ainda acrescidas das áreas de drenagem de outros córregos de contribuição hídrica menos representativa, que drenam diretamente para o rio Doce. Os principais rios da bacia são os rios Piranga, Carmo, Casca e Matipó (IGAM, 2010a).

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranga possui uma população estimada de 686.263 habitantes, distribuídos em 69 municípios, com predominância da população urbana sobre a rural, caracterizando um forte processo de êxodo rural (IGAM, 2010a). As principais cidades da bacia são Mariana, Ouro Preto, Viçosa e Ponte Nova.

No que tange ao perfil econômico, a soma dos PIB municipais na bacia revela um perfil onde predomina o setor de serviços, respondendo por aproximadamente 44% do PIB. O setor industrial é importante e responde por aproximadamente 39% (com forte presença da indústria de extração mineral) e, o agropecuário, por 11% (IGAM, 2010a).

2.2.2. Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba é composta pela bacia do rio Piracicaba e por uma área incremental a jusante da foz deste rio. O rio Piracicaba é afluente da margem esquerda do rio Doce e estende-se por cerca de 241 km. A sua bacia hidrográfica ocupa uma área de aproximadamente 5.700 km² e possui uma população estimada de 687.851 habitantes (IGAM, 2010b).

A pequena área incremental a jusante da confluência do rio Piracicaba com o rio Doce, incluindo um trecho deste, tem uma superfície de 216,13 km², sendo o principal curso d'água o ribeirão Ipanema (IGAM, 2010b). Os principais rios são o próprio Piranga, Santa Bárbara, Conceição, Maquiné e Prata.

Os municípios da bacia pertencem às mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Vale do Rio Doce e, com maior relevância, às microrregiões Itabira e Ipatinga, de acordo com a divisão do IBGE.

Localizada na Bacia do Médio Rio Doce, a Bacia do Rio Piracicaba encontra-se na área de influência do Parque Estadual do Rio Doce e possui um conjunto expressivo de atividades econômicas (siderurgia, celulose e mineração de ferro) com alto grau de impacto ambiental, além de expressiva concentração urbana e massivos reflorestamentos por monocultura de eucaliptos para produção de carvão vegetal e celulose.

2.2.3. Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio

O rio Santo Antônio é um dos principais afluentes do rio Doce, desaguando nele na altura do município de Naque. Possui uma área de drenagem de cerca de 10.800 km² (IGAM, 2010c). A bacia é composta pela bacia do rio Santo Antônio e por uma área incremental a montante da foz deste rio.

Os principais cursos d'água da bacia, além do rio Santo Antônio, são os rios Guanhões e do Peixe, seus afluentes pela margem esquerda, e rios do Tanque e Preto do Itambé, afluentes pela margem direita. A área incremental Santo Antônio inclui um trecho do rio Doce, com área de 327,43 km² e é composta por cursos d'água de pequeno porte, como o córrego Preto (IGAM, 2010c).

Os municípios da bacia pertencem à mesorregião Vale do Rio Doce e, com maior relevância, à microrregião Itabira, de acordo com a divisão do IBGE. A bacia possui em torno de 187.976 habitantes, distribuídos em 29 municípios, dos quais 20 têm a população rural maior que a urbana.

A Bacia do rio Santo Antônio se destaca pela riqueza de seus recursos naturais representados pela grande diversidade de sua fauna e flora, pelos seus recursos hídricos e também por seu grande potencial de geração de energia elétrica. A monocultura do eucalipto ocupa área significativa, principalmente na região do baixo Santo Antônio. A formação vegetal natural da bacia é praticamente toda classificada como floresta estacional semidecidual.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio encontra-se em funcionamento.

2.2.4. Bacia Hidrográfica do rio Suaçuí Grande

A bacia do Suaçuí Grande se estende por aproximadamente 21.600 km², constituindo-se na maior unidade da bacia do rio Doce em termos de área. Composta pela bacia hidrográfica do rio Suaçuí Grande, que ocupa uma área de 12.413 km², pela bacia hidrográfica do rio Suaçuí Pequeno, com área de 1.720 km², e pela bacia do rio Corrente Grande, com área de 2.478 km² (IGAM, 2010d).

As áreas destas bacias hidrográficas são ainda acrescidas das áreas de drenagem de outros córregos de contribuição hídrica menos representativa que drenam diretamente para o rio Doce, pela sua margem esquerda, chamada área incremental Suaçuí, ocupando 4.945 km² (IGAM, 2010d).

A bacia hidrográfica do rio Suaçuí Grande é composta por 48 municípios, com uma população total estimada de 555.177 habitantes. A principal cidade é Governador Valadares, que também é a maior cidade de toda bacia do Rio Doce (IGAM, 2010d).

No que tange ao perfil econômico da bacia, a soma dos PIB municipais revela um perfil onde predominam o setor de serviços, respondendo por aproximadamente 69% do PIB. O setor industrial responde por aproximadamente 13% e o agropecuário, por 10%. Quanto ao perfil da produção agrícola, destaca-se neste quadro a produção de cana-de-açúcar. Na pecuária, destaca-se o rebanho de bubalinos, asininos e ovinos (94%).

Com relação ao extrativismo, destaca-se a produção de madeiras para outros fins que não celulose.

2.2.5. Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga

A Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga, situado no leste mineiro, ocupa uma área aproximadamente 6.700 km². É composta pela bacia do rio Caratinga e por uma área incremental a jusante da foz deste rio, cuja drenagem se dá diretamente para o rio Doce (IGAM, 2010e). O principal curso de água da bacia é o rio Caratinga, afluente da margem esquerda do rio Doce. A bacia conta ainda com 33 importantes afluentes, entre córregos, ribeirões e rios.

Os municípios da bacia pertencem às mesorregiões Zona da Mata e Vale do Rio Doce e, com maior relevância, às microrregiões Caratinga e Governador Valadares, de acordo com a divisão do IBGE. Abrange 22 municípios e possui uma população estimada de 300.520 habitantes. O município mais representativo em termos populacionais é Caratinga.

No entanto há que se considerar, também, a mancha urbana de Governador Valadares, que apresenta situação peculiar em relação à sua sede municipal. O rio Doce secciona sua mancha urbana, e com isso, a maior parte do seu território permanece na bacia do Suaçuí Grande e parte insere-se na bacia do Caratinga.

A principal atividade econômica na bacia do Caratinga é a cultura do café e, em menor escala, a produção de hortifrutigranjeiros e a pecuária. Quanto aos problemas ambientais, destacam-se, na área rural, degradação das terras, escassez e poluição das águas, realização de queimadas, desmatamentos de morros e destruição das nascentes para aumento da área de plantio. Na área urbana é grande a necessidade de melhoria no

sistema de saneamento básico, destinação de lixo, esgoto, bem como o trato mais sistêmico do uso e ocupação do solo.

2.2.6. Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu

A bacia do Rio Manhuaçu possui área de drenagem de 9.011 km², tendo como principais afluentes pela margem direita os rios José Pedro e São Manuel. É composta pela bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, que ocupa uma área de 8.826,37 km², e por uma pequena área incremental (362,68 km²) que inclui um trecho com pequenos córregos (Barroso, Barrosinho, Sossego, Natividade, Santana, da Barata e Lorena), os quais drenam diretamente para o rio Doce (IGAM, 2010f).

A bacia apresenta uma população estimada de 308.792 habitantes, abrange um total de 28 municípios, com destaque para Manhuaçu, está localizada na margem direita do Rio Doce, na região denominada Zona da Mata, a bacia é inserida no Bioma da Mata Atlântica.

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 (em recuperação).

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu encontra-se em funcionamento.

2.3. As Sub Bacias do Estado do Espírito Santo

2.3.1. Bacia do Rio Guandu

A Bacia Hidrográfica do Rio Guandu insere-se totalmente no Estado do Espírito Santo. Possui área de 2.471 Km², é a menor das bacias da macrobacia do Rio Doce e a população total da bacia é de 73.879 habitantes. Abrange, total ou parcialmente, sete municípios, Afonso Cláudio, Baixo Guandu, Brejetuba, Laranja da Terra, Colatina, Itaguaçu e Itarana (IGAM, 2010g).

Além do Rio Guandu, com extensão de 160 quilômetros, a bacia é composta pelos rios afluentes São Domingos, do Peixe, Boa Sorte e Taquaral e por áreas de drenagem de outros córregos, tais como o Queixadão, Água Limpa, Olofote, Goiabal e Laje.

De acordo com IGAM (2010g) na economia, a predominância é do setor de serviços, que responde por aproximadamente 55% do PIB. E o setor agropecuário responde por aproximadamente 30% e, o industrial, por 11%. Na produção agrícola, destacam-se o café, a cana-de-açúcar e o milho.

2.3.2. Bacia do Santa Maria do Doce

A sub-bacia de Santa Maria do Doce integra a macrobacia do Rio Doce e está localizada no Estado do Espírito Santo, em uma área de cerca de 3 mil quilômetros quadrados. É composta pelas bacias dos rios Santa Maria do Doce e Santa Joana, além de outros rios menores e córregos, a exemplo dos rios Baunilha e Pau Gigante e, ainda, de lagoas, como as do Limão e do Amarelo (IGAM, 2010h).

Estão inseridos no território da bacia do Santa Maria do Doce, total ou parcialmente, nove municípios: Afonso Cláudio, Itaguaçu, Itarana, São Roque do Canaã, Colatina, Linhares, Santa Teresa, Ibirapu e João Neiva.

A população é de aproximadamente 116 mil pessoas, conforme o Censo do IBGE de 2010. Na economia, predomina o setor de serviços, seguido do agropecuário e industrial. Na agricultura, destacam se as produções de café, cana de açúcar e milho.

2.3.3. Bacia Hidrográfica do Rio São José

A bacia do São José faz parte da macrobacia do Rio Doce e ocupa uma área de 9.743 quilômetros quadrados (IGAM, 2010i). Está totalmente inserida no Estado do Espírito Santo e é composta pelos rios São José, Pancas e Barra Seca, além de uma área incremental, com rios de menor porte, como o Bananal, São João Pequeno e Mutum.

Quanto às drenagens, é importante citar que próximo à cidade de Linhares, ocorre um notável complexo lacustre composto por dezenas de lagoas de barragem natural que se formaram por processos de represamento do curso fluvial pelos sedimentos marinhos e/ou fluviais do canal principal rio Doce (IGAM, 2010i).

A maior lagoa desse complexo é a Juparanã, com área aproximada de 63 km², perímetro de 103 km, 26 km de extensão e 4 km de largura, profundidade média de 13 m e máxima de 20 m. Seus principais tributários são os rios São José e São Rafael. É a maior lagoa do Espírito Santo em extensão, a segunda maior em área e em volume de água doce do país. A lagoa Juparanã é conectada com o Rio Doce através um emissor, o rio Pequeno, com aproximadamente 7 km de extensão (IGAM, 2010i).

A bacia abrange, total ou parcialmente, 17 municípios: Águia Branca, Alto Rio Novo, Colatina, Governador Lindenberg, Jaguaré, Linhares, Marilândia, Pancas, Rio Bananal, São Domingos do Norte, São Gabriel da Palha, Sooretama, Vila Valério, Baixo Guandu, Mantenópolis, Nova Venécia, São Mateus.

Na economia, predomina o setor de serviços. O setor industrial ocupa a segunda posição, seguido do agropecuário.

Na agricultura, as culturas de maior destaque são café, mamão, cana de açúcar e milho. Já na pecuária, registra-se crescimento significativo de bovinos, ovinos e aves.

3. RESÍDUOS INDUSTRIAIS – ATIVIDADE E EFLUENTES

3.1. Atividades Potencialmente Poluidoras na BHRD

De acordo com o IBAMA (2018), o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) é o registro obrigatório de pessoas físicas e jurídicas que realizam atividades passíveis de controle ambiental.

Na bacia do rio Doce, apenas 15 municípios possuem população superior a 50.000 habitantes, consideradas os principais centros regionais da bacia e são expostas na tabela 2 (IBGE, 2018), a sede do município de Ubá (MG) está fora do limite da BHRD.

Tabela 2. Municípios com mais de 50.000 habitantes

Ordem maior n° população	Município	UF	População 2018*
1	Governador Valadares	MG	278.685
2	Ipatinga	MG	261.344
3	Linhares	ES	170.364
4	Colatina	ES	121.580
5	Itabira	MG	119.186
6	Coronel Fabriciano	MG	109.405
7	Ubá	MG	114.265
8	Caratinga	MG	91.503
9	Timóteo	MG	89.090
10	Manhuaçu	MG	89.256
11	João Monlevade	MG	79.387
12	Viçosa	MG	78.286
13	Ouro preto	MG	73.994
14	Ponte Nova	MG	59.605
15	Mariana	MG	60.142
Total			1.796.092

*População 2018 (população estimada)

Fonte: IBGE 2018

Apenas dois municípios, Governador Valadares e Ipatinga, possuem população superior a 200.000 habitantes. Ambos se localizam em Minas Gerais junto ao leito principal do rio Doce, próximo a corredores importantes, como Ferrovia e Rodovias Federais, sendo considerados os polos dinamizadores da economia regional mais importantes da bacia (COELHO, 2009).

Em Minas Gerais, há o destaque para a Região Metropolitana do Vale do Aço – RMVA/MG e para o Quadrilátero Ferrífero. A RMVA é a segunda maior concentração urbana industrial do Estado de Minas Gerais, composta por quatro municípios principais: Ipatinga, Coronel Fabriciano, Timóteo e Santana do Paraíso e pelo colar metropolitano da Grande Belo Horizonte, que é constituído por outros 24 municípios (IBGE, 2018).

O Quadrilátero Ferrífero, segundo Roeser e Roeser (2010), é uma estrutura geológica cuja forma se assemelha a um quadrado, perfaz uma área de aproximadamente 7.000 km² e estende-se entre Ouro Preto/Mariana a sudeste e Belo Horizonte, a noroeste. É a continuação sul da Serra do Espinhaço e pela sua riqueza geológica é uma região de grande exploração e concentração de indústrias minerais.

As bacias hidrográficas dos Rios Piranga e Piracicaba, apresentam o maior Produto Interno Bruto (PIB) industrial, concentrando aproximadamente 48% da população total (IBGE, 2010).

No Espírito Santo destacam-se as cidades Linhares e Colatina, ambas localizadas na Calha do rio Doce.

O relatório do IBAMA com os registros das atividades potencialmente poluidoras, para o ano de 2018, lista um total de 413 empreendimentos na bacia do rio Doce.

Para essa pesquisa foi feita uma seleção para os 15 municípios abrangendo Minas Gerais e Espírito Santo, com um total de 298 empreendimentos ao longo de toda bacia do rio Doce. Os municípios contemplados se distribuem em diferentes sub-bacias que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Tabela 2), com exceção de Ubá (MG), que possui sede do município fora do limite da BHRD.

Segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH, 2010), a atividade econômica dessa bacia é bastante diversificada, destacando-se: a agropecuária (reflorestamento, lavouras tradicionais, cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado leiteiro e de corte e na suinocultura.); a agroindústria (sucroalcooleira); a mineração (ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros); a indústria (celulose, siderurgia e laticínios); o comércio e serviços de apoio aos complexos industriais; e a geração de energia elétrica.

Na tabela 3 são apresentadas as principais atividades econômicas que ocorrem na bacia.

Tabela 3. Principais atividades econômicas que ocorrem na Bacia

Atividade	Minas Gerais	Espírito Santo
Exploração Mineral	Ferro, pedras preciosas, bauxita, manganês, rochas calcárias e granito	Granito
Indústrias	Siderurgia, metalurgia, equipamentos mecânicos, química, turismo, papel/celulose, bebidas e álcool	Alimentos, bebidas, álcool, têxtil, turismo, moveis e atividades ligadas ao petróleo
Pecuária	Leite e corte (além da suinocultura)	Leite e corte
Agricultura	Café, cana de açúcar e mandioca	Cana de açúcar, cacau, café, produtos hortifrutigranjeiros e mandioca
Silvicultura	Extensos plantios de eucaliptos	Eucaliptos
Setor Terciário	Comércio e serviços de suporte às atividades industriais	Comércio e serviços de suporte às atividades industriais
Produção de Energia Elétrica	Potência instalada superior a 900 Mw	Potência instalada 181,5 Mw

Fonte: COELHO (2007)

Na BHRD encontra-se instalado o maior complexo siderúrgico da América Latina, com destaque para a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, a ACESITA e a USIMINAS. Ao lado da siderurgia estão associadas empresas de mineração, com destaque para a Vale e empresas reflorestadoras, que cultivam o eucalipto para fornecer matéria-prima para as indústrias de celulose (PIRH, 2010).

Dispondo das informações do Cadastro Técnico Federal (IBAMA, 2018), como latitude e longitude, as indústrias foram então georreferenciados usando o programa Google Earth.

Essas informações foram também exportadas para *shapefile* no Programa *ArcGis*, licenciado para PPE/COPPE/UFRJ, e em seguida feito o recorte para o limite da BHRD.

3.2. Efluentes de Atividades Industriais

Atividades antropogênicas, além de gerar bens e serviços, também geram uma quantidade considerável de resíduos nos seus processos. Efluentes do processo produtivo possuem diferentes composições física, química e biológica, que devem ser caracterizados, quantificados e tratados de maneira adequada com a sua classificação e quantidade. A devida destinação final deve ser dada ao efluente tratado.

A contaminação ou poluição do meio ambiente dá-se através do lançamento indevido de efluentes industriais de diferentes fontes, acarretando modificações nas características do solo e da água.

De acordo com Braga *et al.* (2005), poluentes são resíduos gerados a partir de atividades humanas que causam alterações ambientais de forma negativa, sendo a poluição a quantidade ou concentração de resíduos presentes no ar, água ou solo.

Seja para o lançamento dos resíduos originados no processo produtivo ou na limpeza das instalações, é fundamental que a indústria disponha de sistema para tratamento ou condicionamento desses materiais residuais (CIMM, 2019).

A tabela 4 lista as operações normalmente empregadas para os diferentes tipos de contaminantes existentes nos efluentes industriais.

Tabela 4. Operações empregadas para os diferentes tipos de contaminantes existentes nos efluentes industriais

Contaminantes	Operação ou Tratamento
Sólidos Suspensos	Gradeamento
	Remoção de areia
	Sedimentação
	Filtração
	Flotação
	Adição de polímeros químicos
	Coagulação / Sedimentação
	Sistemas Naturais
Orgânicos biodegradáveis	Lodos ativados
	Reatores de filme fixo: filtros biológicos e compactadores biológicos rotativos
Orgânicos voláteis	Striping
	Tratamento de gás pós-striping
	Adsorção por carvão
Patogênicos	Cloração
	Cloreto de Bromo
	Ozonação
	Radiação UV
	Sistemas Naturais
Nutrientes (Nitrogênio)	Nitrificação e desnitrificação com culturas em suspensão ou filme fixo
	Stripping de amônia
	Troca iônica
	Cloração
	Sistemas Naturais
Fósforo	Adição de sais metálicos
	Coagulação / Sedimentação com cal
	Remoção biológica
	Remoção química-biológica
	Sistemas Naturais
Nitrogênio e Fósforo	Remoção biológica de nutrientes
Orgânicos refratários	Adsorção por carvão
	Ozonação
	Sistemas Naturais
Metais Pesados	Precipitação química
	Troca Iônica
	Sistemas Naturais
Sólidos dissolvidos orgânicos	Troca iônica
	Osiose reversa
	Eletrodialise

Fonte: CIMM, 2019

Para identificação dos efluentes gerados para indústrias na BHRD, o presente trabalho baseou-se em pesquisa bibliográfica para a caracterização dos potenciais resíduos que possam poluir a bacia do rio Doce, além de consultas às páginas institucionais das empresas para informações adicionais.

É importante ressaltar que as indústrias em geral não produzem efluentes iguais, porque cada efluente está associado a método de produção específico. Entretanto, para melhor entendimento do tipo resíduo gerado, através de diferentes estudos publicados, torna-se possível conhecer os prováveis poluentes associado a cada setor industrial pesquisado. E a partir disso, será possível identificar os tipos de efluentes industriais que estão impactando o ambiente estudado.

3.3. Extração e Tratamento de Minérios

A mineração de Ferro, Ouro, Níquel e de diversos metais de interesses industriais, no Brasil, contribuem com a liberação de rejeitos que se constituem como uma das principais formas de contaminação do solo e da água por metais pesados. O aumento nas concentrações desses rejeitos no solo e nos efluentes próximos a zonas de mineração pode estar relacionado com processos químicos e biológicos que controlam a solubilidade, a disponibilidade biológica e a mobilidade desses metais (GUILHERME *et al.*, 2005).

Na região do vale do rio Doce, existem reservas minerais importantes. De acordo com os dados do Departamento Nacional de Produção Mineral existem 366 áreas de concessão de lavra na bacia (DNPM, 2019).

As principais atividades de exploração mineral são aquelas relacionadas à extração de ferro e minério de ferro, que somam 31,4% das concessões de lavra, e a extração de rochas ornamentais, que representam 25,1%, destacando-se granitos e gnaiesses (ANA, 2016).

As lavras de ferro e minério de ferro se concentram, de modo geral, nas cabeceiras do rio Piracicaba, um dos principais afluentes do Doce e, em parte das cabeceiras do rio do Carmo. As de rochas ornamentais, por sua vez, encontram-se distribuídas principalmente na porção capixaba da bacia (ANA, 2016).

As indústrias de extração e tratamento de minérios, na bacia do rio Doce, se concentram na região do Quadrilátero Ferrífero, nas bacias do rio Piranga e rio Piracicaba. E também na região do Vale do Aço e Colar Metropolitano na parte da bacia do rio

Piracicaba. São mineradoras de Ferro, Quartzo, Topázio Imperial e Esmeraldas, além de produtoras de blocos de granito e extração de areia (IBAMA, 2018).

Nesse setor industrial, para a região Mineira o destaque é para a atividade de mineração de ferro, exercidas em diferentes empresas, podendo ser destacadas: pela Vale S.A e Samarco Mineração S.A, com lavras a céu aberto localizadas em Mariana, Ouro Preto e Itabira.

De acordo com o MME (2019) o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Para os 48 empreendimentos identificados como extração e tratamento de minérios na BHRD, todos possuem como técnica de extração lavra a céu aberto (IBAMA, 2018).

No método de Lavra a céu aberto, são formados bancos em cava ou encostas dependente das condições topográficas do terreno, onde a profundidade máxima da cava dependerá diretamente do teor e da relação estéril/minério, como também, as dimensões das plataformas de trabalho dependerão da produção e da conveniência dos equipamentos (MME, 2019).

As atividades de mineração causam impacto ambiental considerável. Esse tipo de atividade é capaz de alterar intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito (SILVA, 2007).

De acordo com Rubio e colaboradores (2010), os setores mineiro e metalúrgico pertencem ao grupo das indústrias que mais impactam o meio ambiente, isso porque manuseiam grandes volumes de água, sólidos, óleos (emulsionados ou não), reagentes residuais, gases, elementos com propriedades radioativas, entre outros que, inevitavelmente, poluem via poeiras, efluentes contendo coloides, reagentes químicos, metais pesados dissolvidos, poluentes na forma de aerossóis, dentre outros.

O tipo de minério explorado é determinante para as condicionantes de lavra e beneficiamento, e tem relação direta com os efeitos ambientais do empreendimento, principalmente no que se refere às emissões (MMA, 2001).

Além disso, quando temos a presença de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério, isto pode significar um problema sério do ponto de vista ambiental.

No processo de beneficiamento, os impactos mais comuns são ocasionados por efluentes líquidos contendo metais pesados e ânions tóxicos, sólidos (as vezes coloidais), resíduos orgânicos (espumantes, coletores, surfactantes e óleos) (RUBIO *et al.* 2010).

Usinas de tratamento de minérios usam reagentes que são passíveis de emissão de diferentes compostos nas chamadas águas residuárias (RUBIO *et al.* 2010).

A Tabela 5 apresentam as características e propriedades químicas das águas residuais que são normalmente constituídas por reagentes que podem atingir o meio ambiente.

Tabela 5. Características das águas residuais de circuitos de flotação. Concentrações de íons mais frequentes em ppm

Metais	Disponibilidade em íons	Sulfetos Metálicos (ppm)	Não Metálicos (ppm)	Óxidos / Silicatos (ppm)
Prata	Ag +1	0,02 - 0,1	0,04	0,004
Arsênio	As +3	0,002 - 3,5	<0,01 - 015	-
Berílio	Be +2	< 0,002	-	20 - 36
Cádmio	Cd +2	0,05 - 17	-	< 0,02 - 0,35
Cobalto	Co +2	1, 0 - 1,7	-	-
Cromo	Cr +3	0,03 - 40	-	0,02 - 0,35
Mercúrio	Hg +2	0,0006 - 28	-	-
Chumbo	Pb +2	0,01 - 560	0,02 - 0,01	0,05 - 5,0
Manganês	Mn +2	0,007 - 570	0,2 - 49	0,007 - 330
Níquel	Ni +2	0,01 - 3	-	0,15 - 1,5
Zinco	Z +2	0,02 - 3000	-	0,02 - 20

Fonte: Adaptado de RUBIO *et al.* 2010

No processo de tratamento de minério, a flotação é o mais comumente usados. Na Tabela 5, destaque para o Mercúrio, Chumbo, Manganês e Zinco que podem estar presentes em formas de sulfetos. Esses elementos se apresentam em altas concentrações no resíduo desse tipo de tratamento de minério.

Na atividade de extração de minérios são geradas grandes quantidades de lamas, rejeitos magnéticos e rejeitos de flotação. Araújo *et al.* (2002) estimam que 85% da massa alimentada na usina de beneficiamento são descartadas na forma desses rejeitos.

Por exemplo, de acordo com Lapido-Loureiro *et al.* (2008) para produzir 1,6 milhões de t/ano de concentrado correspondentes à capacidade de produção de uma mina em Tapira (MG), seriam gerados mais de 9 milhões de t/ano de lamas e rejeitos.

Os rejeitos magnéticos são dispostos em pilhas, e os demais são lançados em bacias de contenção, nas quais ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação das águas, que são retomadas para utilização no processo (CETEM, 2010b).

Na extração de minério, a forma de beneficiamento é o principal condicionador das emissões desses empreendimentos. Esses rejeitos podem ter características muito diferenciadas, dependendo do processo e dos insumos (MMA, 2001).

De acordo com a CETEM (2010a), “*Tratamento ou Beneficiamento de Minérios consiste de operações – aplicadas aos bens minerais – visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais*”.

Durante o tratamento ou beneficiamento do minério, diversas etapas devem ser seguidas. A figura 4 ilustra um fluxograma típico de tratamento de minérios, com recirculação de água.

O minério bruto denominado ROM, de “*run-of mine*”, procedente da etapa de lavra de uma mina passa por diversas operações unitárias, que são assim classificadas de acordo com Luz e Lins (2010):

- i. Cominuição (etapa de fragmentação): britagem e moagem;
- ii. peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (ciclonagem, classificação em espiral);
- iii. concentração: gravítica, magnética, eletrostática, flotação etc.
- iv. desaguamento: espessamento e filtragem;
- v. secagem: secador rotativo, *spray dryer*, secador de leito fluidizado;
- vi. disposição de rejeito.

O sistema tradicional de disposição do resíduo de mineração é a barragem de rejeitos. A forma como esses rejeitos de mineração será disposta está diretamente relacionada ao tipo de minério e de processo empregados no beneficiamento.

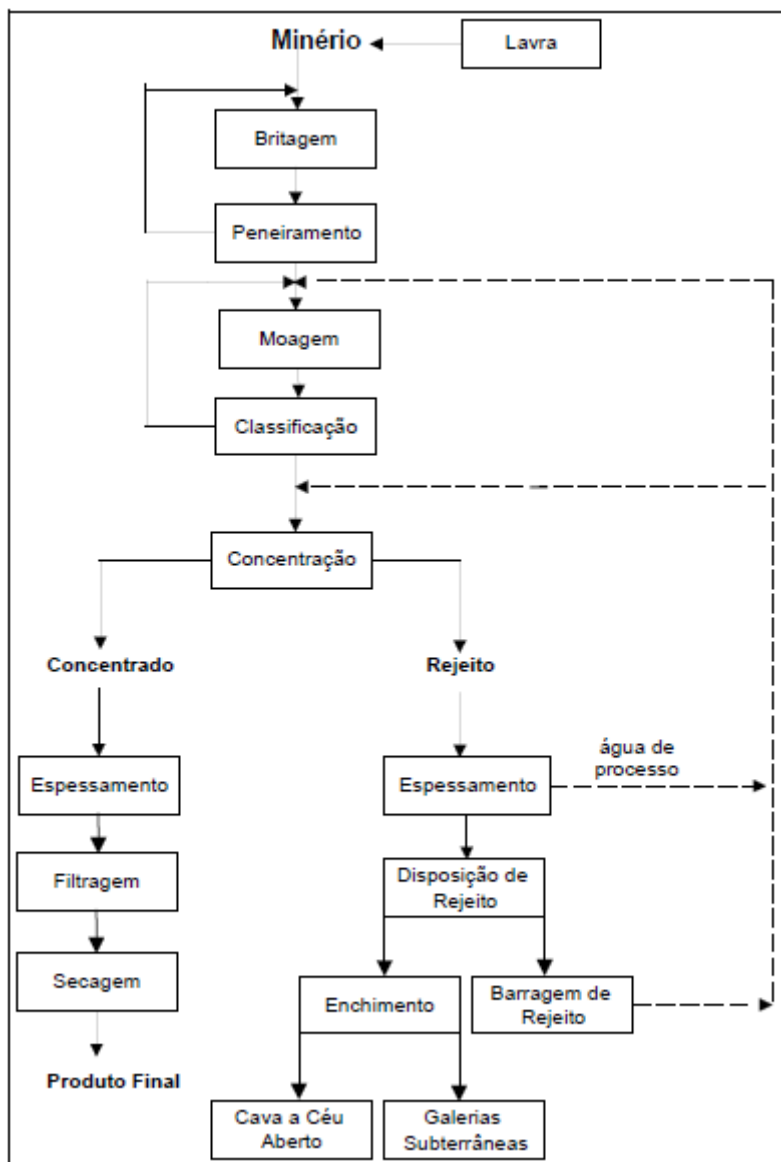


Figura 4. Fluxograma típico de tratamento de minério
Fonte: LUZ e LINS (2010)

Nos empreendimentos da mineradora VALE em Minas Gerais, o tratamento de minérios é realizado contemplando o método de flotação (VALE, 2019). Nesse tipo de processo, os impactos mais comuns são ocasionados por efluentes líquidos contendo metais pesados e ânions (RUBIO *et al.* 2010).

Além de impactos como ruídos, poeiras, deposição-estocagem de rejeitos, em alguns casos a operação de lavras podem contaminar os solos por drenagem ácida e explosivos derivados de glicerina, onde são originados íons de metais pesados como cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio, além do ferro e ânions, tais como, sulfato, fosfato, arseniato, telurato, fluoreto, molibdato, cianeto, entre outros (RUBIO *et al.* 2010).

Os efluentes líquidos devem ser classificados e tratados de acordo com a vazão, natureza e índice de periculosidade (RUBIO *et al.*, 2010).

A tabela 6 apresenta um resumo dos principais processos de tratamento de efluentes de mineração.

Tabela 6. Processos de tratamento de efluentes líquidos na mineração

Principais Processos de Tratamento de Efluentes Líquidos na Mineração
Remoção de íons, metais pesados, ânions, sólidos suspensos, complexos e quelatos, amônia, tio-compostos e nitratos
Tratamento de grandes volumes de águas subterrâneas e águas de minas contaminadas com baixas concentrações de metais pesados dissolvidos
Controle de emissões radioativas e as que contenham cianetos, derivados de arsênio, mercúrio e substâncias orgânicas
Controle de produtos de corrosão e recirculação de águas
Separação de óleos emulsificados ou não, recuperação de solventes orgânicos (extração por solventes)
Remoção e tratamento de lodos, coloides e ultrafinos depositados em bacias ou na forma de suspensão

Fonte: RUBIO *et al.* 2010

Associado a atividade mineradora há o processo de Drenagem Ácida de Mina (DAM), o qual é responsável pela oxidação da pirita (FeS_2) e da pirrotita (FeS_{1-x}) gerando ácido sulfúrico (FERREIRA, 2010).

A Drenagem Ácida da Mina produz efluentes com ácidos carregados de metais, ela pode ocorrer tanto em minas ativas ou abandonadas. A toxicidade associada a DAM é relacionada às altas concentrações de metais dissolvidos, tais como Zinco, Chumbo, Cobre e Arsênio e pelo valor de pH ácido do efluente (FERREIRA, 2010).

Além da extração e tratamento de minério de ferro, há exploração de outros minérios nessa região da bacia do rio Doce. Outra empresa com minas na BHRD, a Quartzito do Brasil S.A. extrai minérios de quartzito, cujo componente principal é o quartzo.

A empresa Quartzito do Brasil S.A. realiza suas atividades de extração e tratamento de minério em Mariana/MG, com foco para a produção de rochas ornamentais como quartzito e pedra sabão (QUARTZITO DO BRASIL, 2019).

O quartzito por possuir em sua composição o quartzo, pode ser matéria prima para produção de cerâmicas. De acordo com o relatório do IBAMA (2018) o efluente

recebe tratamento em nível primário, o qual é encaminhado para bacias de decantação e filtração para então ser devolvido ao meio ambiente isento de finos.

O quartzo tem como fórmula química SiO_2 com composição química de 46,7% de Silício (Si) e 53,3% de Oxigênio (O), e pode apresentar traços de lítio, sódio, potássio, alumínio, ferro férrico, manganês bivalente e titânio, possuindo propriedades físicas constantes (DANA, 1976).

Souza (2018) determinou a composição química de uma amostra de quartzito proveniente do distrito de Alpercatas próximo ao município de Perdizes/MG. Como resultado a análise química elementar provou uma maior porcentagem de silício (80,66%), seguido pelo alumínio (8,08%), potássio (6,05%) e ferro (3,51%).

O uso mais comum de quartzito é como rocha de revestimento decorativo externo e interno e calçamentos, mas um uso com grande valor agregado é em mosaicos ornamentais (SOUZA, 2018).

O grande problema associado à extração de minerais é a quantidade de resíduos gerados. Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais, o resíduo gerado pode ser oriundo da extração do bloco, da serragem para enquadrá-los nas dimensões padronizadas, do processo de corte e de polimento, além de finos da lavra de beneficiamento (MOURA, 2011).

O processo de serragem dos blocos pode ser feito através de fio diamantado ou utilizando polpa abrasiva, sendo esta última alternativa a mais usada (MOURA, 2011). A polpa é composta por água, aço, cal e rocha moída. Nessa fase do processo é gerada uma lama abrasiva como rejeito, se essa lama for lançada diretamente nos rios, isso pode causar assoreamento destes corpos, além da poluição hídrica associada ao material contido na lama, comprometendo a sobrevivência animal e vegetal do ambiente (MOURA, 2011).

Moura 2011, com o objetivo de reaproveitamento do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO), na fabricação de blocos pré-moldados para alvenaria de vedação, analisou a composição química desse tipo de resíduo e verificou a predominância de óxido de cálcio e significativa presença de óxido de ferro (Tabela 7).

Tabela 7. Resultado da composição química do RSRO

Composição Química do Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais (RSRO)	
SiO ₂	5,89%
Al ₂ O ₃	1,23%
MgO	0,40%
K ₂ O	-
TiO ₂	0,35%
Na ₂ O	0,30%
Fe ₂ O ₃	9,06%
SO ₄	0,40%
CaO	79,01%
Massa específica da amostra	2,74 kg/dm ³
Massa unitária da amostra	1,01 kg/dm ³

Fonte: MOURA, 2011

O resíduo do corte dos blocos em teares diamantados muitas vezes é misturado a resíduos de outras fases do processo, então a lama final pode conter outros produtos químicos, provenientes das etapas de polimento e resinagem das chapas, no beneficiamento secundário (CETEM, 2014).

Resultados de análises realizadas pelo CETEM (2014) atestaram a presença de alumínio e fenóis totais fora dos limites estabelecidos pela legislação em algumas das amostras de lama oriundas no beneficiamento de rochas ornamentais.

A tabela 8 apresenta a composição química média observada em resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais.

Tabela 8. Composição química média, em porcentagem, de resíduos de rochas ornamentais

Tipos de resíduos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
	Óxido de Cálcio	Óxido de Magnésio	Dióxido de Silício	Óxido de Alumínio	Óxido Férrico	Óxido de Potássio	Óxido de Sódio
Exclusivo do corte de granitos com granalha	5	2	62	12	7	4	3
Exclusivo do corte de mármore	50	15	5	1	1	0,2	0,1
Mistura de granitos e mármore	21	4	36	9	9	4	2
Exclusivo do corte de calcário	50	5	5	0,5	0,2	0,2	0,2
Exclusivo do corte de quartzitos	0,6	-	80	9	1	-	-
Exclusivo do corte de ardósias	2	3	57	6	7	4	2

Fonte: CETEM, 2014

A atividade de extração de areia também é destaque na bacia do rio Doce, as que possuem cadastro no IBAMA (2018) ficam localizadas no município de Caratinga/MG, na sub-bacia do rio Caratinga.

A extração de areia é exercida para atender ao setor de construção civil brasileiro, mas também é responsável por inúmeros impactos ambientais negativos, como a depreciação da qualidade das águas, incidência de processos erosivos e alterações na geomorfologia fluvial dos cursos d'água (NOGUEIRA, 2016).

Quanto a resíduos, entendem-se que efluentes oriundos de sistemas de tratamento de minério podem gerar contaminação. É inegável que o descarte de rejeitos das usinas de beneficiamento eventualmente resulta em um apreciável fator de poluição.

No CTF/APP (Cadastro Técnico Federal - Atividades Potencialmente Poluidoras) no setor de Extração e Tratamento de Minérios, são classificados 48 empreendimentos (IBAMA, 2018), e quase metade dessas minas, a céu aberto, localizadas em Mariana. Cerca de 77% desses empreendimentos estão no Quadrilátero Ferrífero.

Os empreendimentos listados nessa categoria, de acordo com IBAMA (2018), possuem seus efluentes tratados antes de serem descartados no corpo receptor. E são tratamento em sua maioria de nível primário e alguns a nível secundário.

3.4. Indústrias Metalúrgica e Mecânica

A indústria metalúrgica é responsável pela fabricação de aço e produtos siderúrgicos. Indústrias do setor metalmeccânico são responsáveis por uma série de atividades relacionadas à transformação de metais em produtos, através de tecnologias que usam como matéria-prima elementos como ferro, alumínio e aço, entre outros tipos de ligas metálicas (FERREIRA, 2002).

As indústrias de atividade metalúrgica e mecânica, na bacia do rio Doce, estão localizadas na bacia do rio Piranga e rio Piracicaba, na parte de Minas Gerais, e na bacia do rio São José na parte do Espírito Santo. Com concentração dessas atividades na região do Quadrilátero Ferrífero, e também na região do Vale do Aço e Colar Metropolitano.

Nessa região da BHRD está instalada a ArcelorMittal, maior produtora de aço da América Latina, atuando nos setores de mineração, siderurgia, metalurgia, geração de energia e produção de biorredutor renovável (carvão vegetal a partir de florestas de eucalipto) (ARCELORMITTAL, 2019).

Além da ArcelorMittal, outros destaques nesse setor são: Novelis, grande produtora de alumínio laminado; Aperam, que produz aço inoxidável para construção civil; Metalosa, que produz ferro e aço; e Usiminas que atualmente é a líder de aços planos no Brasil (USIMINAS, 2019).

Os principais resíduos gerados nesses empreendimentos são essencialmente sólidos e gasosos (RIZK *et al.* 2014). Efluentes gerados nesse tipo de indústria são oriundos, principalmente, da lavagem de chapas e lavagem do piso das instalações onde são realizados os processos.

No processo metalúrgico são gerados principalmente resíduos de classe I (perigosos), oriundos dos processos de lavagem das chapas, lavagem do piso, dos tornos e da pintura (EDLINGER *et al.* 2012).

Como exemplo de resíduos gerados no setor metalúrgico, a tabela 9 exhibe os principais resíduos de uma empresa metalúrgica, localizada na região norte do estado do Rio Grande do Sul, instalada em uma área construída de mais de 4000 m² (EDLINGER *et al.* 2012).

Tabela 9. Processos de fabricação onde são gerados resíduos, sua quantidade e classificação

Processo de Geração	Resíduo Gerado	Quantidade *	Classe**
Corte das chapas de aço carbono	Limalha de ferro ou cavacos	96.000 kg/ano	II
	Retalho de aço carbono	N.E	II
	Fluídos de corte (trocado 1x ao ano)	N.E	I
Lavagem das chapas	Óleos e graxas	N.E	I
	Emulsão de óleo, água e detergente	1 m ³ /dia	I
Pintura eletrostática e pintura líquida	Estopas contaminadas, filtros, EPI's contaminados	1 m ³ /dia	I
	Embalagens contaminadas com tintas e solventes	N.E	I
Lavagem do piso	Efluente contaminado com óleo e metais	N.E	I

*A quantidade é variável, dependente do processo desenvolvido

** Classificação dos resíduos de acordo com a NBR 10.004/2004

N.E : Não estimado.

Fonte: EDLINGER et al. 2012

O trabalho realizado por Edlinger e colaboradores (2012) usou a norma brasileira ABNT NBR 10.004 de 2004, que se refere a classificação de resíduos sólidos da seguinte definição:

- a) Resíduos classe I – perigosos. Aqueles que apresentam periculosidade, ou inflamabilidade, ou patogenicidade (ABNT, 2004).
- b) Resíduos classe II – Não perigosos. Os que constam no anexo H da NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Durante o processamento metalúrgico, a quantidade de efluentes líquidos é pequena quando comparada com os resíduos sólidos. Entretanto, esses efluentes podem gerar impactos negativos, quando em sua composição são encontrados metais pesados, ânions, compostos orgânicos e metálicos, além de deposição de rejeitos sólidos (RUBIO *et al.* 2010). O resíduo, caso não seja tratado, pode impactar o meio inserido quando há descarte inadequado da lama residual gerada durante o processo, contaminando os corpos hídricos.

As principais indústrias mecânicas da BHRD estão instaladas na bacia do rio Piracicaba. São indústrias que fabricam ferramentas como lanças, caçambas, tambores de correias, calhas de peneiras, chapas de desgastes, além de material hidráulico e outros tipos de peças e ferragens. A maioria dessas indústrias foram fundadas para atender a demanda de obras na região, por isso possuem proximidade com as indústrias metalúrgicas.

Em muitos casos essas indústrias são complementares entre si, como é o caso da USIMINAS, que atua siderurgia e mecânica.

De acordo com os registros dessas empresas, junto ao IBAMA (2018), no setor metalúrgico e mecânica, a maioria possui sistema de tratamento de efluente instalado. Que pode contemplar tratamento primário até nível secundário, com a operação de reatores anaeróbicos.

3.5. Indústrias de Alimentos e Bebidas

De acordo com IBAMA (2018), há um total de 46 empreendimentos na BHRD classificados no grupo de produtos alimentares. Essas empresas estão espalhadas ao longo da BHRD, concentradas nos municípios mais populosos da bacia do rio Piranga, bacia do rio Manhuaçu, bacia do rio Suaçuí Grande e bacia do rio Santa Maria do Doce.

Na região mineira da BHRD há intensa produção de laticínios nos municípios: Ponte Nova, Viçosa, Caratinga, Manhuaçu e Governador Valadares. Nessas regiões, também há instalações de abatedouros, que contemplam o abate, processamento e armazenamento de produtos de origem animal.

Além de beneficiamento e industrialização de leite e derivados, em Minas Gerais também há produção industrial de café, com beneficiamento e moagem dos grãos, além de torrefação, presentes principalmente nos municípios Caratinga, Manhuaçu, Viçosa e Governador Valadares.

Para a parte da BHRD no Espírito Santo, as cidades que se destacam nesse setor são Colatina e Linhares. Nessa região são identificadas indústrias que fabricam ração animal, abatedouro e produção de laticínios.

Em sistemas de abatedouros as principais fontes de contaminação são as águas residuárias e os resíduos sólidos gerados nas diversas etapas do processo industrial, além da limpeza e higienização das instalações e equipamentos, que constituem, pela sua composição, fontes de poluição e contaminação que ameaçam constantemente o meio ambiente, e em particular, os corpos receptores (WIECHETECK et, al. 2002).

Similarmente a vários outros tipos de indústria, em abatedouros o alto consumo de água acarreta em grandes volumes de efluentes de 80 a 95% da água consumida é descarregada como efluente líquido. Estes efluentes caracterizam-se principalmente por: alta carga orgânica, alto conteúdo de gordura, flutuações de pH em função do uso de

agentes de limpeza ácidos e básicos, altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal (TAVARES e WEBER, 2014). É então um efluente com alta carga orgânica poluidora.

A indústria de laticínios também gera efluentes com elevado potencial poluidor, principalmente pela quantidade de soro que é descartado junto com os demais efluentes, o soro chega a ser cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico (SILVA, 2011).

Os empreendimentos classificados e registrados no CTF/APP (IBAMA, 2018) possuem informações de que seus efluentes recebem tratamento antes de serem lançados no corpo receptor.

Atendendo o que é definido na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 357/2005 e CONAMA N° 430/2011, estabelece que, independente da fonte poluidora, os efluentes somente poderão ser lançados diretamente nos corpos hídricos receptores após serem devidamente tratados e desde que atendam aos padrões e exigências dispostas pela norma.

Para o setor de alimentos e bebidas, recebem tratamento que pode ser em nível primário, secundário e terciário.

3.6. Indústria Química

Na bacia do rio Doce, principalmente na sub-bacia do rio Piracicaba estão concentradas as principais indústrias químicas.

Para as empresas cadastradas no setor químico na BHRD foram identificadas duas indústrias que produzem embalagens plásticas, estão instaladas em Timóteo e em Governador Valadares.

Instaladas nos municípios de Timóteo, a Nusi Indústria e Comércio de Produtos Químicos, produz insumos químicos como Cloreto Férrico e Percloreto de Ferro que são usados no tratamento de águas e efluentes.

Em Ipatinga, a White Martins é a principal produtora e comercializadora de gases industriais. E também, em Ipatinga, está instalada a Linde Gases também atua nessa mesma categoria de produção.

Na sub-bacia do rio Piranga, em Viçosa e na sub-bacia do rio Suaçuí Grande, em Governador Valadares, há indústrias de cosméticos.

Na sub-bacia do rio Manhuaçu, em Manhuaçu está instalada a Fertilizantes Heringer S.A.

Os impactos gerados na produção de fertilizantes são identificados logo no início da cadeia produtiva com a atividade extrativa de minério. A mineração é uma das atividades que mais causam problemas na deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, na paisagem e na biodiversidade terrestre e aquática (CETEM, 2010b).

As indústrias de Fertilizantes usam como matéria prima os produtos procedentes da petroquímica e da mineração. Dentro desse processo, o Nitrogênio (N), o Fósforo (P) e o Potássio (K) são os mais importantes (PAULO e SERRA, 2015).

Fertilizantes com micronutrientes são formulados a partir da adição de elementos como Boro, Cobalto, Cloro, Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio, Zinco, que são absorvidos em pequenas quantidades. Esses fertilizantes podem ser aplicados via solo, visando aumentar a concentração desses micronutrientes no solo, ou via foliar (ABISOLO, 2019).

Esse tipo de fertilizantes é produzido em indústrias misturadoras, como a Heringer S.A, de acordo com o processo simplificado na figura 5.

O processo produtivo da Heringer corresponde à última fase da cadeia de produção das Misturas NPK, ou seja, à mistura dos Fertilizantes Básicos que, associados à micronutrientes específicos, resultam numa formulação adequada a cada tipo de cultura (HERINGER, 2019).

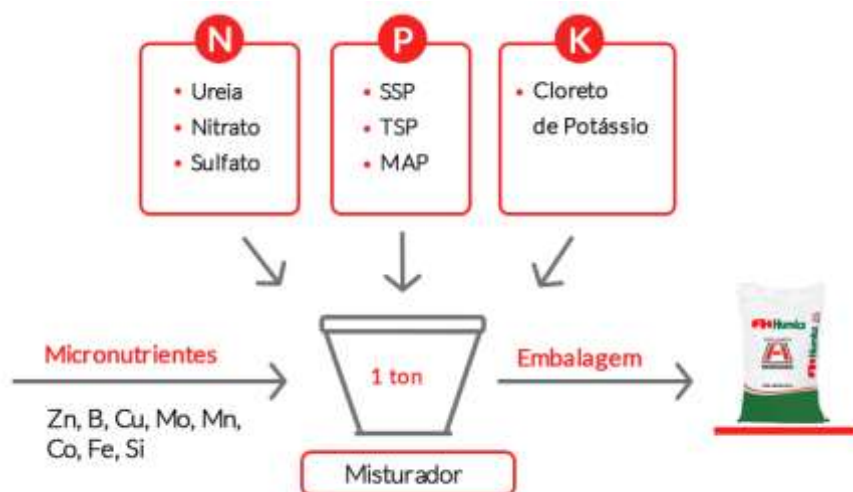


Figura 5. Processo de adição de micronutrientes nos fertilizantes básicos
Fonte: HERINGER (2019)

Durante o processo de produção de fertilizantes, nas etapas de armazenamento, mistura da matéria-prima, manutenção e reparos das máquinas e instalações; são identificados alguns aspectos como: descarga de produtos químicos, emissão de

particulado e lixiviação do solo. Esses aspectos geram impactos como poluição do ar e poluição do solo, contaminação do lençol freático, além de outros impactos diretamente relacionados à saúde dos trabalhadores (PAULO e SERRA, 2015).

Na produção de fertilizantes são gerados resíduos sólidos, atmosféricos e líquidos. Efluentes líquidos são oriundos da lavagem de equipamentos contendo ureia, nitratos, sulfato de amônio, e micronutrientes; assim como efluentes gerados no laboratório de qualidade. Nas oficinas são diagnosticados resíduos de drenagem oleosa provenientes do sistema aéreo de abastecimento de óleo diesel e lavador de máquinas (CHANG, 2017).

Os efluentes gerados nessas indústrias cadastradas no IBAMA (2018) são tratados em ETEs, e contemplam tratamento em nível primário e secundário.

3.7. Indústria Têxtil

Indústrias classificadas como Têxtil, Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos, na BHRD estão concentradas no Espírito Santo nas sub-bacias do rio Santa Maria do Doce e rio São José. Estas indústrias de confecções de peças de roupas e calçados estão instaladas nos municípios de Colatina e Linhares.

Estas empresas, no seu processo de produção, contemplam etapas de tingimento, estamparia, outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos. Além de etapas de beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos.

As indústrias cadastradas na categoria têxtil, de acordo com IBAMA (2018), tratam seus efluentes antes do descarte no corpo receptor, esse tratamento pode ser em nível primário, secundário e terciário.

O processo produtivo têxtil (Figura 6) se constitui basicamente por seis etapas: obtenção de fibras têxteis; fiação com a completa obtenção do fio, tendo como matéria-prima fibras naturais e/ou manufaturadas; preparação para tecelagem; tecelagem; beneficiamento ou acabamento e por fim lavanderia ou confecção.

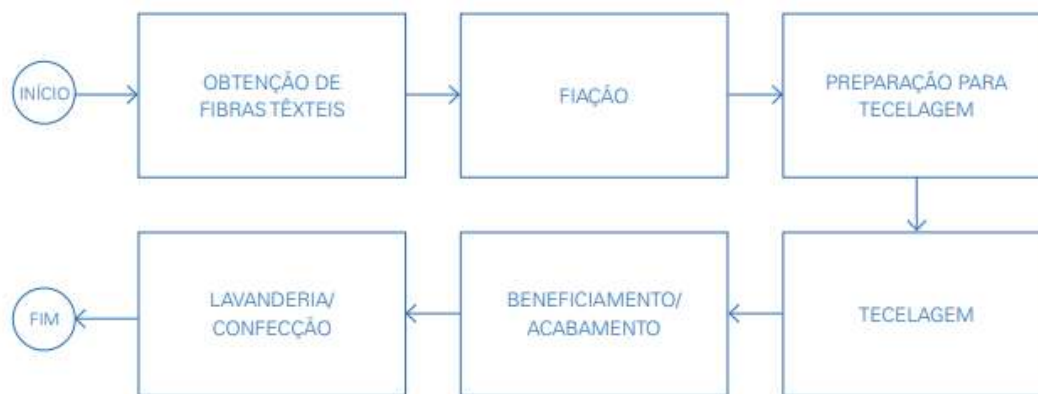


Figura 6. Etapas do Processo Produtivo Têxtil Simplificado
Fonte: FEAM (2014)

O beneficiamento envolve tingimento, engomagem, retorção e tratamento especiais.

Do ponto de vista ambiental, a etapa de tingimento é a mais crítica, pois exige a utilização de corantes com características próprias e bem definidas, que devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração e resistência ao desbotamento (WESENBERG *et al.*, 2003).

Tais corantes podem ser classificados de acordo com a sua constituição química, sua aplicação, solidez, tipo de excitação eletrônica, quando exposto à luz, entre outras (AMARAL *et al.*, 2014).

A indústria têxtil utiliza grandes volumes de água no beneficiamento de seus produtos, insumo que representa 90% do consumo geral da indústria por tonelada de tecido produzido, gerando altos volumes de efluentes, que contêm contaminantes complexos, quimicamente resistentes e altamente persistentes aos processo de biodegradação (QUEIROZ *et al.*, 2016).

O efluente gerado nessas indústrias apresentam forte coloração devido à presença de corantes que não se fixam adequadamente às fibras (LEDAKOWICZ *et al.*, 2001). Cerca de 10% a 20% de corantes são descartados durante a etapa de lavagem (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Os efluentes da produção têxtil também possuem compostos orgânicos como álcoois, ácido acético, aminas, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, sabões e detergentes e compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto, que conferem aos efluentes elevados níveis de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos em Suspensão Totais (SST) e baixas

concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD), afetando a biota aquática (GUARATINI; ZANONI, 2000; CISNEROS *et al.*, 2002;).

A remoção dos corantes nos efluentes têxteis deve ocorrer antes do lançamento em corpos hídricos para evitar a contaminação de reservatórios e o aumento do custo em estações de tratamento de água destinadas ao atendimento da população em geral (QUEIROZ *et al.*, 2016).

Queiroz e colaboradores (2016), realizaram um diagnóstico do sistema de gerenciamento de resíduos de uma indústria têxtil localizada no município de Alvinópolis, Minas Gerais (na sub-bacia do rio Piranga).

No diagnóstico do sistema de tratamento de efluentes, os autores (QUEIROZ *et al.*, 2016) identificaram que a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) empregava a tecnologia de lodos ativados convencional, com decantação primária assistida, onde era aplicado sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), apresentado na figura 7.

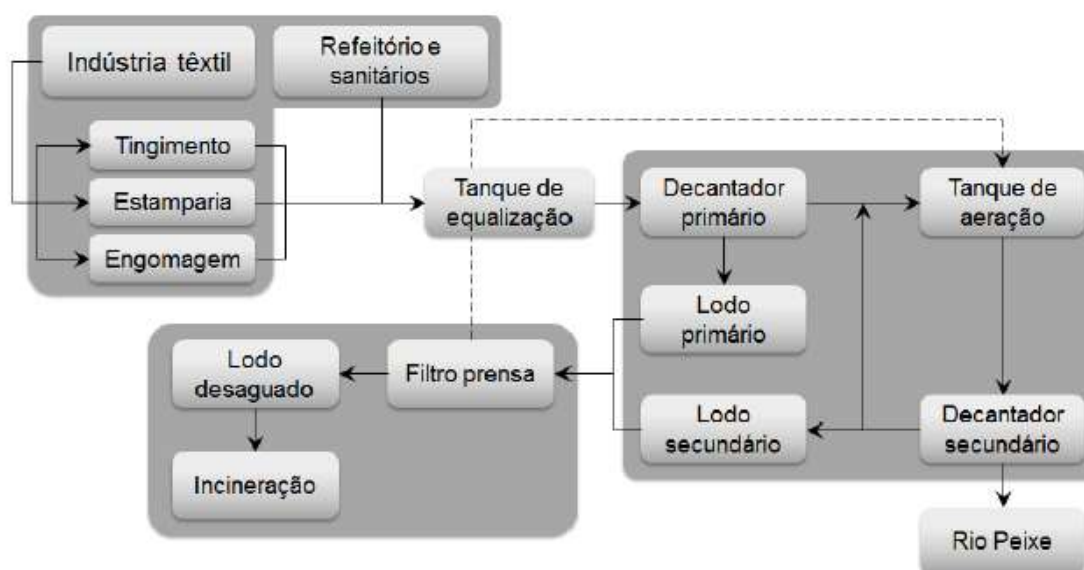


Figura 7. Geração e tratamento de efluentes na indústria têxtil, Alvinópolis, Minas Gerais
Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2016

A indústria realizava a captação de água subterrânea e lançamento de efluentes tratados no Rio do Peixe, afluente do rio Doce e que banha os municípios de Alvinópolis, Dom Silvério e Rio Doce (QUEIROZ *et al.*, 2016). Nos parâmetros de monitoramento da ETE observaram que, devido ao uso de sulfato de alumínio no decantador primário, a concentração de alumínio dissolvido aumentou na saída da ETE. Na entrada da ETE a concentração de alumínio era de 0,19 mg/L e na saída foi para 2,75 mg/L.

A indústria têxtil estudada por Queiroz e colaboradores (2016), atendeu aos requisitos estabelecidos pela DN COPAM-CERH-MG 01/2008 em relação a todos os parâmetros monitorados, exceção em relação à concentração de Substâncias Tensio Ativas (STA) que apresentou comportamento inesperado, com grande aumento após o tratamento e extrapolando o padrão de lançamento.

As STA são capazes de reduzir a viscosidade e tensão superficial da água, implicando em disfunções ambientais graves (QUEIROZ *et al.*, 2016).

Os autores (QUEIROZ *et al.*, 2016) orientam que o tratamento de efluentes, em uma indústria desse segmento, precisa ser realizado em função da natureza dos poluentes envolvidos, visando à efetiva remoção dos mesmos.

3.8. Indústria de Minerais Não – Metálicos

Na bacia do rio Doce, as indústrias de minerais não-metálicos se concentram em Governador Valadares na sub-bacia do rio Suaçuí Grande e em Colatina no Espírito Santo. Além dessas, foram identificadas mais duas nesse segmento: uma em Coronel Fabriciano em Minas Gerais na sub-bacia do rio Piracicaba, trata-se de uma marmoraria, e outra em Ouro Preto.

De acordo com os registros do CTF/APP (IBAMA, 2018), essas indústrias trabalham na fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos, tais como produtos de material cerâmico, cimento, gesso, amianto, vidro e similares.

Essas indústrias realizam atividade de beneficiamento de minerais não metálicos, não associados a extração.

O efluente gerado, nesses empreendimentos, passa por uma estação de tratamento de efluente, que abrange tratamento em nível primário (IBAMA, 2018).

A mineradora São José, em Ouro Preto na sub-bacia do rio Piranga, é uma das maiores mineradoras de talco do país, além de ser a maior produtora da linha de culinária em pedra sabão do Brasil (SÃO JOSÉ, 2019).

A matéria prima da panela de pedra sabão é o esteatito, uma rocha composta principalmente por talco e encontrada em maior escala no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, extraída muitas vezes das “pedreiras” no distrito de Santa Rita de Ouro Preto. O esteatito também é usado na confecção de esculturas e outros utensílios de cozinha, sendo que sua maior tradição está na aplicação culinária (SÃO JOSÉ, 2019).

O mineral talco é um filossilicato de magnésio hidratado, apresentando fórmula química $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$. A lavra de talco é conduzida a céu aberto, utilizando-se pequena quantidade de explosivos para evitar desagregação excessiva do minério (PONTES e ALMEIRA, 2008).

Os jazimentos de talco apresentam um caráter heterogêneo, com respeito à disposição, composição química, cor e impurezas, devido a isso a extração é realizada por processos manuais ou mecanizados (PINHEIRO, 1973; MURATORI, 1984; SOUZA, 1988 apud PONTES e ALMEIRA, 2008).

No Brasil, durante muito tempo, a lavra seletiva e a catação manual foram os principais métodos adotados para melhorar a qualidade do talco, cujo beneficiamento tem sido realizado através de uma secagem seguida de moagem para reduzir o minério à granulometria exigida pelo mercado (PONTES e ALMEIRA, 2008).

Atualmente, há mineradoras de talco em Minas Gerais que realizam o beneficiamento do minério através da flotação convencional. Seguido dos processos: secagem com filtro a vácuo, estocagem, moagem, micronização, pelotização, secagem e embalagem em sacos ou big-bags (NOGUEIRA, 2017).

As principais impurezas desse minério são: serpentina, dolomita, magnesita, calcário, tremolita, clorita e óxidos de ferro (PONTES e ALMEIRA, 2008).

O talco é usado como matéria prima nos seguintes segmentos: indústria cerâmica, de refratários, de defensivos agrícolas, de produtos asfálticos, de plásticos, de inseticidas, de cosméticos, de tintas, de têxteis, de borracha, farmacêuticas e de papel. Os principais fatores que determinam a aplicabilidade do talco para diferentes usos são: granulometria, composição química, mineralogia e alvura (PONTES e ALMEIRA, 2008).

Quanto a resíduos, entendem-se que efluentes oriundos de sistemas de tratamento de minério podem gerar contaminação. E assim como na extração de minerais metálicos, o descarte de rejeitos das usinas de beneficiamento eventualmente resultam em um apreciável fator de poluição.

3.9. Indústria de Borracha

As indústrias de borracha na BHRD estão localizadas nas sub-bacias do rio Suaçuí Grande e sub-bacia do rio Caratinga. Nos municípios de Governador Valadares e Caratinga. Para a seleção feita na presente pesquisa, foram identificadas quatro indústrias nesse segmento ao longo da bacia do rio Doce.

Nessa categoria, as indústrias trabalham com: recondicionamento de pneumáticos, fabricação de laminados e fios de borracha, e beneficiamento de borracha natural (IBAMA, 2018).

O processo produtivo desse segmento tem como atividade principal o beneficiamento de borracha *in natura* extraída do látex da seringueira *Hevea brasiliensis* na forma de coágulos de látex (SEMAD, 2011).

De acordo com o relatado no parecer da SEMAD (2011), o único produto usado desde a extração do látex até a fase final do beneficiamento é água e vinagre (ácido acético) com solução diluída de 1% com a finalidade de coagulação do látex. O vinagre é um ácido orgânico biodegradável com a função de facilitar a coagulação do látex.

Após essa etapa o coágulo é levado ao triturador e cai diretamente em um tanque com água. Em seguida, o produto é direcionado para as calandras lavadoras e laminadoras, cada uma formada por dois cilindros de aço, no meio dos quais os aglomerados de coágulos é molhado com água e esmagado, formando as mantas de borracha. Após essa etapa, as mantas são colocadas em carrinhos do tipo varais e levada a estufa de ar quente para secagem. As mantas ficam 24 horas na estufa a uma temperatura de 70 ° C. Finalmente passado pela prensa, que é a última máquina do processo industrial desse tipo de empreendimento (SEMAD, 2011).

Nesses empreendimentos, os efluentes industriais são coletados em canaletas ao longo de todas as etapas do processo e conduzidos para tratamento preliminar.

O tratamento preliminar pode ser constituído de caixas de passagem e tanques de decantação e flotação. O líquido remanescente é então direcionado nas adutoras da rede municipal de esgoto, sendo tratado posteriormente pela COPASA em Minas Gerais (SEMAD, 2011).

3.10. Indústria de Couros e Peles

Na BHRD as indústrias que se dedicam ao curtimento e outras preparações de couros e peles, além de fabricação de artefatos diversos de couros, estão localizadas em Ipatinga na sub-bacia do rio Piracicaba.

A fabricação de couro é um conjunto de diversas etapas compostas por processos químicos e físico-mecânicos, que tornam a pele um produto agradável e bonito (DIAS *et al.* 2014). Cada mudança nessas etapas pode fornecer couros de diferentes tipos, aspectos e características.

De acordo com Archeti (2001) os principais resíduos na indústria de processamento de peles são: as peles removidas ou modificadas, pelos, óleos naturais, aparas e raspas; produtos químicos residuais do processo e das embalagens.

As peles são submetidas a diversos tratamentos químicos em meios aquosos realizados em sequência, logo esse tipo de indústria utiliza grandes quantidades de água, e empregam produtos tóxicos como cromo e sulfetos. E o volume total de efluentes líquidos gerados pelos curtumes normalmente é similar ao total de água captada (PACHECO, 2005).

Pesquisas relatam que o efluente não tratado pode conter ainda os elementos: alumínio, chumbo, cianeto, clorofórmio, cobre, cromo trivalente, diclorobenzeno, diclorometano, éter, etilbenzeno, fenol, fósforo, manganês, naftaleno, níquel, nitrogênio amoniacal, pentaclorofenos, sulfatos, titânio, tolueno, triclorofenol, zinco, zircônio (ARMCANZ; ANZECC, 1999 apud ARCHETI, 2001; PACHECO 2005).

No entanto, para a seleção feita na presente pesquisa o efluente gerado nas duas indústrias cadastradas no IBAMA (2018), recebe tratamento em nível primário antes de ser descartado no corpo hídrico.

3.11. Indústria de Madeira

Na BHRD as indústrias que realizam atividade de serraria e desdobramento de madeira, além de fabricação de estruturas de madeira e de móveis, estão em menor quantidade e localizadas em diferentes pontos da bacia do rio Doce.

Em Minas Gerais estão instaladas em Ponte Nova e Ipatinga, já no Espírito Santo estão em Colatina e Linhares.

Como essas empresas se dedicam à fabricação de móveis e estruturas de madeira, não há efluentes líquidos gerados no processo de produção, a não ser o esgotamento sanitário das instalações administrativas como banheiros e pias (IBAMA, 2018). Sendo assim, o efluente gerado nessas instalações segue para a rede coletora pública para devido tratamento.

3.12. Indústria de Papel e Celulose

Na seleção feita nos dados do CTF/APP (IBAMA, 2018) foram identificadas três indústrias nesse segmento. Duas delas em Ponte Nova (MG), na sub-bacia do rio Piranga,

próximas a calha do rio Piranga. E uma em Governador Valadares, próxima a calha do rio Doce na sub-bacia do rio Suaçuí Grande.

Em Ponte Nova está instalada a Klabin S/A, maior produtora e exportadora de papéis do país, com foco na produção de celulose, papéis e cartões para embalagens, embalagens de papelão ondulado e sacos industriais, além de comercializar madeira em toras (KABLIN, 2019).

As outras duas indústrias desse segmento se dedicam a fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada.

O papel é proveniente da polpa, um material celulósico fibroso extraído de várias matérias-primas, como madeira (principal), palhas, bagaço de cana, algodão, linho, sisal, bambu e similares. Na etapa de polpeamento, a polpa recebe enchimento, acabamento e os produtos são transformados em folhas de papel (AZZOLINI e FABRO, 2012).

A polpa pode ser classificada de forma abrangente de acordo suas propriedades físico-químicas e de seus processos de produção (CPRH, 1998 apud AZZOLINI e FABRO, 2012). E de acordo com Azzolini e Fabro (2012) pode ser:

- Polpa Química, obtida por tratamento químico, abrange o processo de polpeamento alcalino (Processo Sulfato ou Kraft e Processo Soda) e o polpeamento ácido (Processo Sulfito).
- Polpa Químicotermomecânica, obtida pelo amolecimento da madeira por meio de tratamento semiquímico, térmico e desfibramento mecânico.
- Polpa Quimimecânica, produzida pelo amolecimento inicial da madeira por tratamento químico, seguido de desfibramento mecânico.
- Polpa Termomecânica, em que o desfibramento mecânico é precedido de tratamento térmico para amolecimento. Polpa Mecânica, produzida pela desintegração mecânica da madeira na presença de água.

Os efluentes líquidos oriundos do processo de produção de celulose-papel são extremamente variáveis, tanto em características qualitativas quanto em quantidade por unidade de produto (AZZOLINI e FABRO, 2012).

Esses efluentes podem apresentar em sua composição elementos como: ferro, manganês, cloretos, sulfatos, fosfatos e nitrogênio.

Azzolini e Fabro (2012), realizaram um estudo para verificar a eficiência do tratamento do efluente de uma empresa de celulose e papel localizada no estado de Santa Catarina, que utiliza no tratamento de seus efluentes o sistema do tipo lodo ativado. Os

autores estudaram a eficiência do processo de tratamento na etapa secundária e terciária, realizaram então, análises do efluente na entrada e na saída do reator. Os resultados foram comparados com a CONAMA n° 430/2011, e os parâmetros principais são apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros no tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose e comparação com a resolução CONAMA n° 430

Parâmetro	Média obtida na empresa – Ponto Entrada do Reator	Média obtida na empresa – Ponto Saída Final	Padrões de lançamento de efluente Resolução CONAMA n° 430
Turbidez	77,85 UT	17,63 UT	[1]
Temperatura	29,72°C	17,22 °C	< 40°C
pH	6,85	7,72	5 a 9
Oxigênio Dissolvido	0,38 mg/L	4,88 mg/L	[1]
Sólidos Dissolvidos	578,20 mg/L	44,67 mg/L	-
Ferro	2,21 mg/L	0,20 mg/L	15 mg/L
Sólidos Totais	2020,33 mg/L	240,67 mg/L	-
Cloretos	95,57 mg/L	69,90 mg/L	-
Manganês	2,59 mg/L	1,04 mg/L	1 mg/L
DBO5	987,67 mg/L	40,58 mg/L	Remoção de 60%
DQO	2338,33 mg/L	253,0 mg/L	-
Fosfato Total	1,10 mg/L	0,59 mg/L	[1]
Sulfatos	599,17 mg/L	25,0 mg/L	[1]
Surfactantes	1,85 mg/L	2,16 mg/L	[1]
Nitrogênio Total	5,10 mg/L	4,97 mg/L	20 mg/L

Nota:

[1] o lançamento de efluente deverá simultaneamente: Atender as condições e padrões de lançamento de efluentes; não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade da água, estabelecidos pelas respectivas classes, nas condições de vazão de referência e; atender a outras exigências aplicáveis.

Fonte: Adaptado de AZZOLINI e FABRO, 2012

De acordo com o observado na tabela 16, os resultados obtidos no trabalho de Azzolini e Fabro (2012), afirmam que o sistema de tratamento utilizado pela empresa estudada foi eficaz na maioria dos parâmetros estudados contribuindo, assim, para a manutenção da qualidade no corpo receptor.

As três empresas desse segmento, na sub-bacia do rio Doce, realizam tratamento de seus efluentes em nível secundário e terciários (IBAMA, 2018), antes da emissão nos mananciais. Entretanto, se alguma anormalidade for identificada ou se o monitoramento e tratamento não forem eficazes, pode ocorrer contaminação do corpo hídrico receptor.

3.13. Indústria de Material Elétrico

Na bacia do rio Doce, para a seleção realizada no CTF/APP (IBAMA, 2018) foram identificadas duas empresas nesse setor: Indústria de Baterias Raiom Ltda e Plasmod Injeção Plástica e Ferramentas Ltda. Ambas estão localizadas em Governador Valadares (MG) na sub-bacia do rio Suaçuí Grande. Essas empresas se dedicam a fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores. Todo efluente gerado é tratado em nível secundário e o efluente final segue para rede pública de tratamento (IBAMA, 2018).

As pilhas secas, são constituídas de parte externa feita de zinco, e o seu interior é composto por um bastão de carbono, além de conter uma pasta úmida de sais e óxido de manganês (SILVA *et al.*, 2012).

As pilhas secas são subdivididas em pilhas primárias - aquelas descartáveis, das pilhas secundárias - que são as recarregáveis. As primárias compreendem as pilhas com os seguintes sistemas químicos: zinco-carbono, zinco-cloreto, manganês (alcalino), óxido de mercúrio, óxido de prata, zinco-ar e lítio (SILVA *et al.*, 2011).

Já as secundárias incluem as pilhas fabricadas com os sistemas químicos de níquel-cádmio (Ni-Cd), chumbo-ácido, níquel-metal hidreto e lítio-íon (ESPINOSA; TENÓRIO, 2004).

Nesse segmento, existem vários tipos de bateria, a mais comum é a Bateria de Níquel-Cádmio. Esse tipo de bateria é empregado em diversos aparelhos, entre eles telefone celular e filmadora.

A composição química das baterias de celular de níquel-cádmio: têm um eletrodo (cátodo) de Cádmio (Cd), que se transforma em $Cd(OH)_2$, e outro (ânodo) de $NiO(OH)$, que se transforma em $Ni(OH)_2$. O eletrólito é uma mistura de KOH e $Li(OH)_2$ (SILVA *et al.*, 2012).

A maioria das pilhas zinco-carbono possui mercúrio em sua composição, proveniente do minério de manganês, entretanto muitos fabricantes negam esse fato (SILVA *et al.*, 2012). Apenas alguns desses fabricantes têm encontrado soluções para evitar o uso deste metal. O mercúrio também se combina com carbono em compostos orgânicos.

Na produção de baterias na Indústria de Baterias Raiom Ltda, as principais matérias primas são: barras de chumbo, ácido sulfúrico, fibras acrílicas, expansor, GLP, conjuntos no breaks, monoblocos plásticos, tampas, batoque, tampão do respiro, polos,

barra de chumbo, placas positivas, placas negativas, separadores, parafusos, porcas, cabos para R 2,5, estopa, solvente, rótulos, etiquetas, caixas de papelão, fita adesiva (SEMAD, 2008).

De acordo com o parecer da SEMAD (2008), o processo produtivo de baterias na Raiom segue as seguintes etapas:

- Fundição, onde chumbo em barras é fundido à temperatura de 400 a 480°C, em seguida envasado nas coquilhas determinando o formato final das peças.
- Fabricação de grades; o chumbo é recebido em lingotes, estocado próximos aos cadinhos das fundidoras de grades, de acordo com a demanda o chumbo é introduzido no interior dos cadinhos, para fusão com aquecimento com GLP.
- Produção de óxido de chumbo; após fundição do chumbo este vai para a cilindrada, os cilindros acondicionados em silo são direcionados para o moinho de bolas que os transforma em pó (óxido de chumbo), seguindo para a masseira onde promove a mistura e homogeneização do óxido com água, ácido sulfúrico 50% e agentes expansores (fibras de sílica, negro de fumo e sulfato de bário), esta massa vai para a empastadeira.
- Empastação; distribuição da massa sobre as grades que são umedecidas com água, depois curadas em túnel secador aquecido por GLP seguindo para montagem e sofrendo carregamento elétrico.
- Formação de placas seco carregadas são fabricadas pela passagem destas por tanque de lavagem. Este processo utiliza água e o efluente passa por coluna catalisadora retornando ao tanque de lavagem em processo de recirculação contínuo. São secadas a vácuo, após serem secas seguem para montagem de baterias.

Os efluentes industriais da Raiom são provenientes do setor de fabricação de placas, gerado em função do umedecimento dos cilindros da empastadeira, limpeza do piso e equipamentos. Com fluxo contínuo de vazão variável, vazão média de 7,50 m³ por dia e máxima de 9,50 m³ por dia. Os efluentes sanitários gerados no empreendimento são produzidos pelo esgotamento sanitário do banheiro e refeitório (SEMAD, 2008).

De acordo com as informações contidas no Relatório de Controle Ambiental e no Plano de Controle Ambiental disponível pela SEMAD (2008), todo o efluente industrial gerado pela empresa Raiom, é direcionado para a ETE, composta por elevatória, tanques

de reação e leito de secagem de lodo. O efluente é então lançado na rede pública municipal, após adequações aos padrões de lançamento.

Quanto aos esgotos domésticos provenientes dos sanitários e refeitório, da Raiom, esses são conduzidos a uma fossa séptica, filtro anaeróbico e sumidouro, que tem por finalidade a sedimentação e digestão dos despejos sanitários da empresa, com remoção parcial e digestão da matéria orgânica em suspensão (SEMAD, 2008).

No filtro anaeróbio instalado em série com a fossa séptica, desenvolvem as bactérias metanogênicas responsáveis pela digestão do material orgânico carreado no efluente. A rede de águas pluviais é segregada e direcionada para rede municipal de coleta, não tendo contato com efluente sanitário e industrial (SEMAD, 2008).

3.14. Saneamento na bacia do rio Doce

No Brasil as principais concentrações populacionais, ocorrem nas capitais das Unidades da Federação e seu entorno, em função da disponibilidade de serviços, infraestrutura, logística e outros elementos que privilegiam o desenvolvimento de todos os tipos de atividades nessas regiões. Portanto, é natural que as capitais e principais aglomerados urbanos do País concentrem a maior quantidade dos esgotos gerados (ANA, 2017).

Esgoto sanitário é a soma dos esgotos domésticos e os esgotos industriais. De acordo com Barbosa (2006), para o esgoto doméstico ou o industrial devem ser usadas técnicas que objetivam minimizar seu potencial poluidor, para que o mesmo possa ser lançado a um corpo receptor sem causar degradações ao meio ambiente. Estando em conformidade com a CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

As correntes líquidas originadas de processos industriais, de operações e/ou utilidades, podendo estar acompanhada de águas pluviais contaminadas e/ou esgotos sanitários; os quais possuem características físico-químicas bastante diversificadas podendo agregar constituintes biológicos como bactérias são denominadas efluentes industriais (CAVALCANTI, 2009).

Efluentes industriais podem ter como principais constituintes: substâncias orgânicas, materiais flutuantes e oleosos, metais pesados, nitrogênio e fósforo, entre outros (CAVALCANTI, 2009).

Em Minas Gerais a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) é a responsável pelo abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e limpeza urbana, assim como manejo de resíduos sólidos (COPASA, 2019).

No Espírito Santo a CESAN (Companhia Espírito-santense de Saneamento) é a responsável por captar, tratar e distribuir água, bem como coletar e tratar esgotos sanitários. Podendo exercer funções no setor de serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (CESAN, 2019).

A bacia do rio Doce é considerada uma das mais fragilizadas pela poluição em Minas Gerais e uma das piores do Brasil.

De acordo com o Atlas do Esgoto da ANA (2017), apenas 9,8% dos 102 municípios na parte mineira da bacia realizam devido tratamento do esgoto gerado antes de lança-los nos mananciais.

De acordo com o CBH-DOCE (2019) cerca de 80% do esgoto doméstico, produzido por cidades da bacia do rio Doce, são lançados sem tratamento no leito do rio Doce e seus afluentes.

O Atlas do Esgoto da ANA (2017) apresenta dados de esgoto sanitário no Brasil para o ano de 2013, sendo esses os únicos dados oficiais mais recentes disponíveis. Para esse período, a tabela 11 apresenta a relação dos municípios mais populosos da BHRD e os índices de atendimento e tratamento de esgoto.

Tabela 11. Índice de atendimento de tratamento de esgoto na bacia do rio Doce

Município	UF	População Urbana (2013)	Prestador de Serviço de Esgotamento Sanitário	Sigla do Prestador	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento (2013)	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento (2013)
Caratinga	MG	74.061	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	83%	0%
Coronel Fabriciano	MG	106.945	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	88%	0%
Governador Valadares	MG	264.711	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	95%	0%
Ipatinga	MG	250.456	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	0%	100%
Itabira	MG	107.940	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	50%	40%
João Monlevade	MG	77.124	DAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto	DAE	93%	0%
Manhuaçu	MG	69.206	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	95%	0%
Mariana	MG	50.647	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	83%	0%
Ouro Preto	MG	63.788	Serviço Municipal de Água e Esgoto	SEMAE	80%	0%
Ponte Nova	MG	53.169	Departamento Municipal de Água e Esgoto	DMAE	93%	0%
Timóteo	MG	85.888	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	COPASA	93%	0%
Ubá	MG	104.343	Prefeitura Municipal de Ubá	PM	89%	0%
Viçosa	MG	70.965	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	85%	0%
Colatina	ES	106.219	Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental	SANEAR	95%	3%
Linhares	ES	135.769	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	SAAE	15%	58%

Fonte: Elaboração própria a partir de ANA (2017)

De acordo com dados da ANA (2017), na região mineira apenas Ipatinga trata todo esgoto sanitário coletado. Enquanto que a maior cidade da bacia, Governador Valadares, com aproximadamente 265 mil habitantes, coleta cerca de 95% de seu esgoto,

mas despeja 100% do que é coletado diretamente em mananciais, e que acabam alcançando o rio Doce.

Após o rompimento da barragem de Fundão (Mariana/MG), foi criada a Fundação Renova que é a entidade responsável pela mobilização para a reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão (RENOVA, 2019).

Com a finalidade de revitalização do rio Doce, que é uma das medidas compensatórias, a Fundação Renova por meio do Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG) e do Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (BANDES), se propôs repassar R\$ 500 milhões para projetos saneamento de esgoto e destinação adequada de resíduos sólidos para 39 municípios da bacia do Rio Doce (RENOVA, 2019a).

No mais recente relatório disponível pela Fundação Renova, em novembro de 2019, é apresentado o cronograma de atividades dos programas.

O programa “*PG031 - Coleta e Tratamento de Esgoto e Destinação de Resíduos Sólidos*” iniciou os repasses de recursos em dezembro de 2016. Atualmente encontra-se em fase de cálculos e repasses de recursos às prefeituras, além de avaliações dos planos de saneamento apresentados pelas prefeituras.

Na região do Vale do Aço (MG), o município de São José do Goiabal foi o primeiro dos 39 municípios impactados pelo rompimento da barragem de Fundão a receber a autorização para dar início às obras de saneamento com os recursos do Programa de Coleta e Tratamento de Esgoto e de Destinação de Resíduos Sólidos, da Fundação Renova (RENOVA, 2019b). Durante o desenvolvimento desta pesquisa, não foram encontradas informações oficiais sobre o início de outras obras relacionadas a esse projeto.

4. METODOLOGIA

4.1. Fonte de Dados

A bacia hidrográfica do rio Doce, devido a intensa atividade industrial, vem ao longo dos anos sendo foco de muitos estudos. É de interesse público conhecer melhor a situação ambiental da bacia, assim como dos diferentes rios que fazem parte da mesma.

A presente pesquisa baseou-se em consulta à dados secundários obtidos em relatórios do Instituto Mineiro de Gestão de Água – IGAM, relatórios do Serviço

Geológico do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SGB CPRM e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Para correlacionar dados de concentração de metais, na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, à possíveis fontes industriais de poluição, foi realizada pesquisa junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Foi então possível realizar o mapeamento das fontes potencialmente poluidoras através de consulta ao Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais – RAPP.

Os dados de concentração de metais e informações das fontes potencialmente poluidoras, que foram necessários para a análise realizada, foram tratados de acordo com o fluxograma geral e resumido da figura Figura 8.

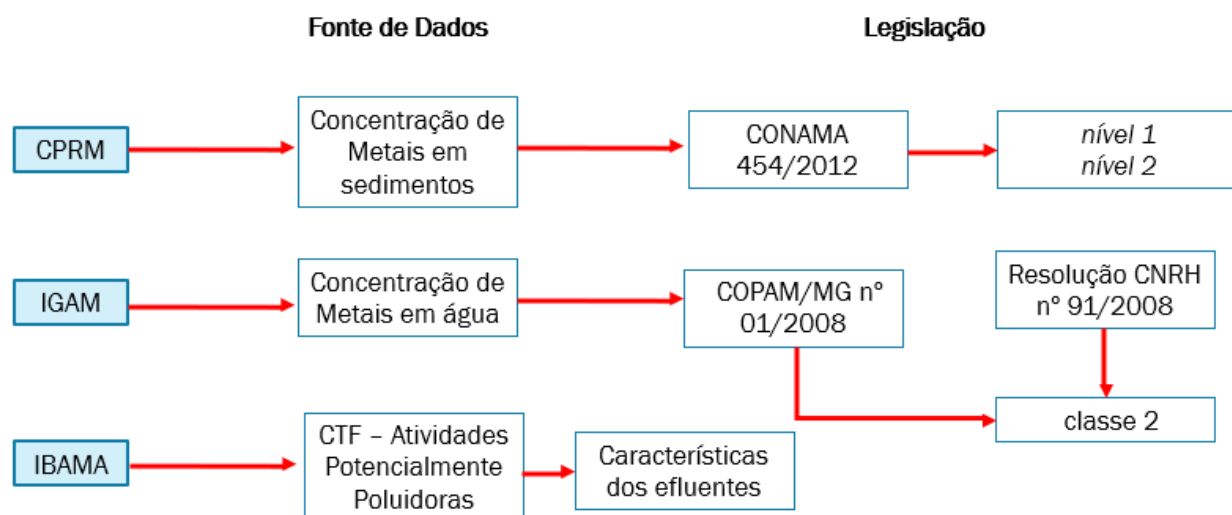


Figura 8. Fluxograma geral de fonte dos dados e legislação aplicada
Fonte: Elaboração Própria

Os relatórios obtidos nos órgãos ambientais citados, foram obtidos em formato CSV “Comma-Separated Values” (arquivo de texto que separa seus valores através de vírgulas) para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

De posse das informações de latitude e longitude, os dados obtidos para o trabalho foram georreferenciados usando o software *Google Earth*. Essas informações foram também exportadas para *shapefile* no Programa *ArcGis*, licenciado para PPE/COPPE/UFRJ, e em seguida feito o recorte para o limite da BHRD.

4.2. Legislação

4.2.1. Concentração de metais em água

Os resultados de concentrações de metais em água, disponibilizados nos relatórios de monitoramento da qualidade das águas do Programa Águas de Minas (IGAM, 2019a), para o período de 2012 a 2018 foram avaliados através do Indicador de Contaminação por Tóxico (IGAM, 2014) que correlaciona os valores de concentração de metais em água com os limites para a classe 2 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 1, 2008.

O enquadramento dos corpos d'água é um dos instrumentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, que estabelece metas de qualidade de água para atender aos seus usos preponderantes, as quais devem ser aprovadas pelos conselhos de recursos hídricos. O rio Doce não possui enquadramento aprovado no âmbito do CNRH (ANA, 2016).

Para a bacia do rio Doce o enquadramento foi tratado durante a elaboração do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH-Doce, 2010) e gerou uma proposta de enquadramento para os 16 afluentes principais e para o próprio rio Doce, com vistas a orientar o alcance das metas de qualidade previstas no plano (ANA, 2016).

De acordo com a Resolução CNRH n° 91/2008 que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais e subterrâneos, para finalidade de cobrança, outorga e licenciamento ambiental devem ser considerados nos corpos d'água superficiais que ainda não enquadrados os padrões de qualidade da classe correspondente aos usos preponderantes mais restritivos existentes no respectivo corpo d'água (CNRH, 2008). No artigo 15 parágrafo 2 da referida resolução diz que *“Até que a autoridade outorgante tenha informações sobre os usos mais restritivos, poderá ser adotado, para as águas superficiais, a Classe 2”*.

Para os cálculos de Indicador de Contaminação por Tóxico, nos dados de concentração de metais em água, foram considerados os limites para classe 2 definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 (Tabela 12).

O trabalho adotou como referência os limites para a classe 2 da legislação do COPAM/CERH-MG n° 1/2008, que é idêntica ao CONAMA n° 430/2011, que complementa e altera a CONAMA n° 357/2005.

Tabela 12. Limites de concentração de metais em água para a classe 2 definido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008

Metais	COPAM nº 1/ 2008
	Classe 2
mg/L	mg/L
Al	0,1
Cr	0,05
Mn	0,1
Fe	0,3
Ni	0,025
Cu	0,009
Zn	0,18
As	0,01
Se	0,01
Cd	0,001
Hg	0,0002
Pb	0,01

Fonte: Elaboração própria a partir da COPAM/CERH nº 01/2008

4.2.2. Concentrações de metais em sedimentos

A qualidade do sedimento é classificada no mundo segundo os valores guias, estabelecidos por agências ambientais, baseados em grupos de estudos formados por especialistas no assunto.

Devido à falta de resolução específica no Brasil, a resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012 vem sendo usada como principal guia orientador para avaliação da qualidade ambiental de sedimentos em âmbito nacional. A resolução prevê dois níveis de classificação do material a ser dragado em portos:

I - nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota.

II - nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

O enquadramento do material dragado em uma das classes obedecerá ao disposto nos valores orientadores da resolução.

A Tabela 13 refere-se aos limites de concentração para os metais no material a ser dragado em água doce.

Os limites adotados pela CONAMA n° 454/2012 são valores orientadores que possuem como referência critérios de classificação dos sedimentos estabelecidos pelo CCME - *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2002).

Tabela 13. Resolução CONAMA n° 454/2012 - Níveis de classificação do material a ser dragado

Metais	CONAMA 454 Nível 1	CONAMA 454 Nível 2
mg/kg	mg/kg	mg/kg
Al	-	-
As	5,9	17
Cd	0,6	3,5
Cr	37,3	90
Cu	35,7	197
Fe	-	-
Hg	0,17	0,486
Mn	-	-
Ni	18	35,9
Pb	35	91,3
Zn	123	315
Se	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir da resolução CONAMA n° 454/2012

4.3. Mapeamento Geoquímico – SGB CPRM

O Serviço Geológico do Brasil – SGB, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, dispõe de um acervo de dados históricos sobre as características geoquímicas do Quadrilátero Ferrífero e região de Mariana, assim como sobre a bacia do rio Doce (CPRM, 2015a).

Trabalhos de mapeamento geoquímico ambiental, que incluem coletas de amostras de solo e sedimentos de correntes, geram dados que podem configurar a paisagem geoquímica do meio físico e explicitar as zonas de espécies químicas; empobrecidas, enriquecidas ou normais relativas a valores de background globais e regionais (LIMA *et al.*, 2011).

A CPRM em conjunto com a ANA desenvolveu em 2010 estudos em toda a bacia do rio Doce abrangendo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Esse estudo, realizado no âmbito do projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Brasil (Geoquímica Multiuso), incluiu a coleta de 464 amostras de sedimentos de corrente e água superficial na parte da bacia do rio Doce que corresponde

a Minas Gerais e 76 amostras de sedimento e água na parte da bacia que corresponde ao Espírito Santo.

As amostras localizaram-se em pontos em bacias com área entre 150 e 200 km², bem como a coleta de 106 amostras de solo em malha aproximada de 25x25km (CPRM, 2015a).

Para elaboração desse estudo, foi feito *download* dos resultados analíticos de amostras geoquímica na página virtual do CPRM (2016). Esses resultados correspondem as amostras feitas no período de 2009 a 2010 na bacia do Rio Doce.

Os resultados desse trabalho realizado pela CPRM, foram divulgados no Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce em 2016, bem como foram tratados e apresentados em formato de mapas (CPRM, 2016).

Dispondo dos dados da CPRM em formato de Excel foi possível realizar as devidas análises, como cálculos de índices ambientais e comparação com os limites da Resolução CONAMA n° 454/2012.

Para aqueles elementos que indicaram algum nível de contaminação, seja por ultrapassar o valor limite da CONAMA ou identificado com o uso dos índices ambientais, foi relacionado com uma possível fonte natural ou antropogênica da região estudada.

O fluxograma na Figura 9 apresenta a sequência realizada para análise dos dados de contaminação de metais em sedimentos a partir dos dados da CPRM.

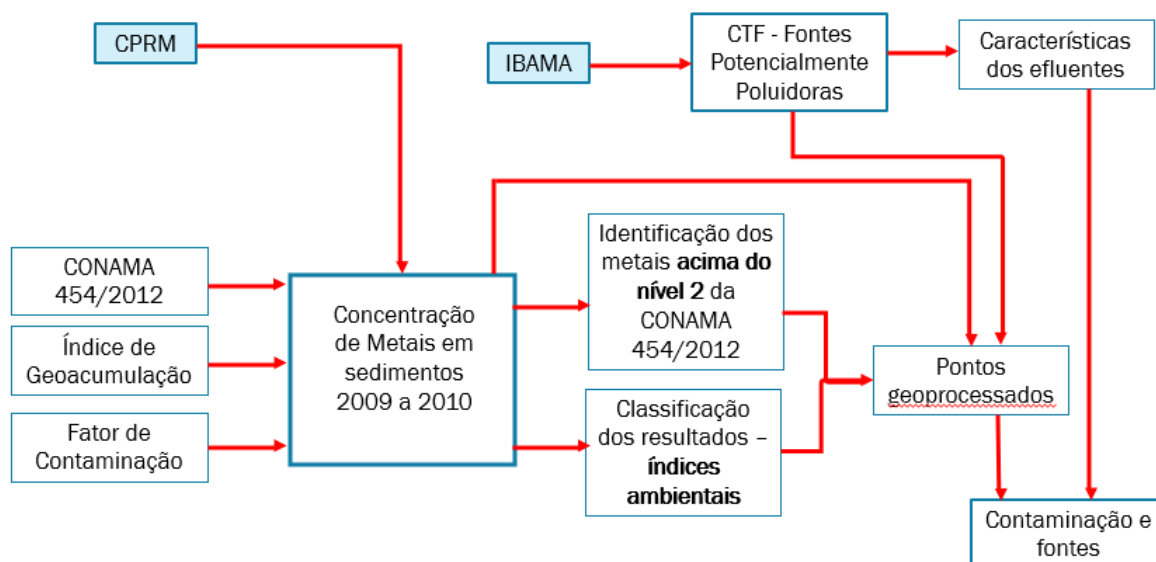


Figura 9. Fluxograma da análise da contaminação de metais em sedimentos

Fonte: Elaboração Própria

Os valores foram exportados para o *ArcGIS* e para o *Google Earth* com o objetivo de tornar mais clara a visualização dos pontos em sistema georreferenciado e melhorar a análise com as possíveis fontes poluidoras na BHRD.

O mapa apresentado na Figura 10 apresenta os 540 pontos de amostras de sedimento na bacia do rio Doce no período de 2009 a 2010.

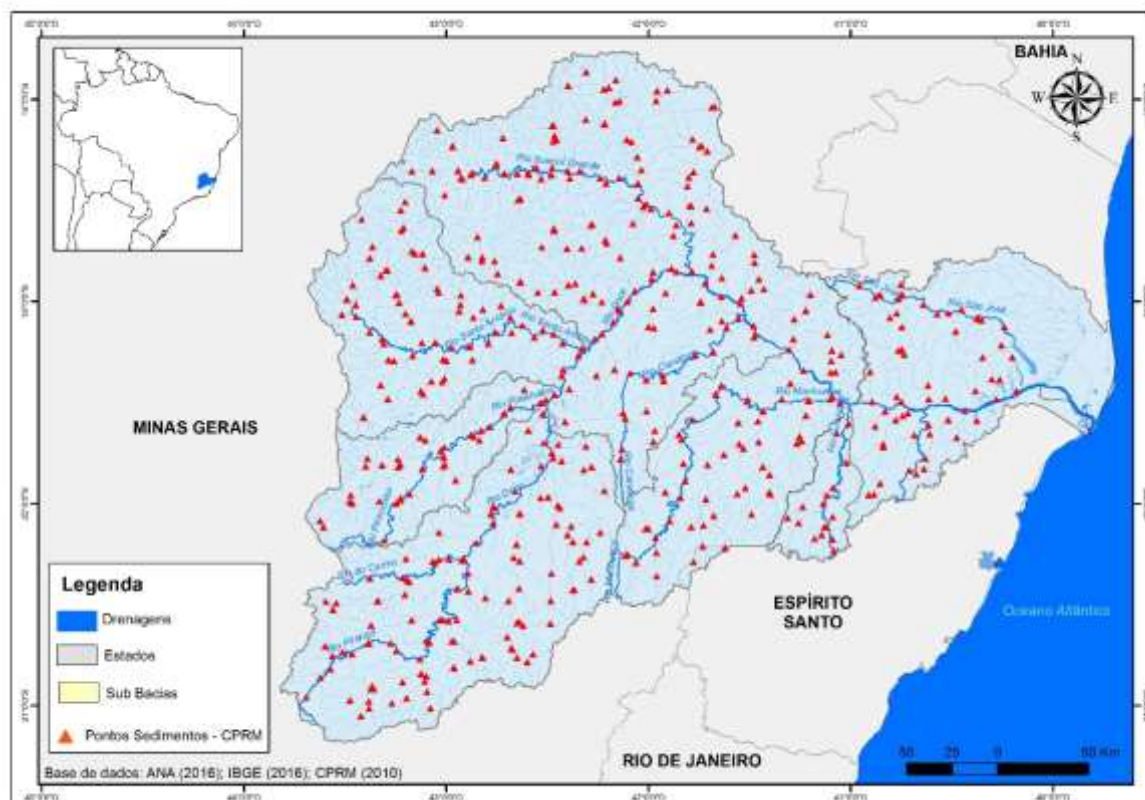


Figura 10. Mapa de localização da amostragem do Projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade na bacia do rio Doce no período de 2009 a 2010

Fonte: Elaboração Própria

4.4. Índices de Avaliação Ambiental em Sedimentos

A partir de índices ambientais sugeridos na literatura foi realizada uma avaliação ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce quanto a contaminação de metais em sedimento.

Há uma escassez de dados históricos que possibilite uma análise de contaminação em sedimento em toda bacia do rio Doce de forma mais completa.

Os dados obtidos de amostras de água são limitados, já que representam somente o momento da amostragem.

Nesse caso, dados obtidos por estudos de sedimentos são mais realistas, pois os contaminantes estão muitas vezes retidos no compartimento, sofrendo menos variação ao longo do tempo em comparação com a água (SANTOLIN, 2015).

De acordo com Poletto (2008), sedimentos podem ser definidos como fragmentos de rochas e de solos desagregados pelo processo de intemperismo e erosão. Além das partículas minerais, as partículas orgânicas também são consideradas sedimentos.

Quanto a formação de sedimentos, são processos que envolvem diferentes fenômenos, resultando em uma mistura variada de material sólido de origem natural e antropogênica com espécies químicas representativas da mineralogia da bacia hidrográfica, atividades econômicas e urbanização (POLETO, 2008).

Sedimentos possuem envolvimento íntimo com água, funcionam como um compartimento aquático vivo. E por isso, pesquisas que investigam metais em sedimentos, o definem como compartimento determinante na redistribuição desses elementos nesse meio (COTTA, REZENDE E PIOVANI, 2006).

Do ponto de vista ambiental, sedimentos enriquecidos por metais traços podem proporcionar riscos à biota, por isso é importante a definição de padrões comparativos, em termos de concentrações relativas (LIMA, 2008).

Ao longo dos anos, desde Gresens (1967), diversos estudos e pesquisas na área de geoquímica mostram que é possível a partir de valores de “background” natural para o local estudado, usar índices que através da concentração do elemento da amostra são capazes de estimar um possível nível de contaminação, quando correlacionados ao valor de referência local ou “background”.

Para avaliação de contaminação em sedimentos na BHRD foram usados os dois índices, o Índice de Geoacumulação proposto por Müller (1969) e o Fator de e Fator de Contaminação proposto por Hakanson (1980).

Os dois índices correlacionam a concentração de elementos com a concentração definida como “background”, que corresponde ao valor considerado à abundância natural do elemento, sem ter sofrido influência de origem antropogênica (SANTOLIN, 2015).

As escolhas de backgrounds é algo que deve ser feito com atenção, pois é necessário escolher valores que foram medidos o mais próximo do local da área pesquisada e em locais que sofram nenhuma ou pouca interferência antropogênica.

Diante do exposto, a fim de minimizar as possíveis diferenças nos valores de “background” em escala regional, optou-se por utilizar valores definidos por estudo realizado por Costa e colaboradores (2003), na sub-bacia do Rio Gualaxo do Norte, os

autores realizaram análises em amostras coletadas em diferentes períodos, estação seca em 1999 e estação seca e chuvosa em 2000 (COSTA *et al.*, 2003).

Um dos objetivos do trabalho, de Costa e colaboradores (2003), foi propor backgrounds para área de estudo (Tabela 14). O uso desses valores como backgrounds para a bacia do rio Doce é aceitável, uma vez que o Rio Gualaxo do Norte possui sua nascente no município de Ouro Preto, com foz na Rio do Carmo, pertencente à bacia do rio Doce.

Para os elementos Ferro e Selênio foi necessário buscar em outras fontes de pesquisas valores de backgrounds, para esses metais foi escolhido os valores definidos para rochas sedimentares, sedimentos marinhos, no trabalho de Turekian e Wdephohl (1961). (Tabela 15).

Tabela 14. Valores de background para sedimentos da sub-bacia Rio Gualaxo do Norte

Elementos	Valores propostos em mg/kg
Arsênio (As)	8,8
Alumínio (Al)	1800
Manganês (Mn)	1290
Cádmio (Cd)	0,17
Cromo (Cr)	28
Cobre (Cu)	8
Merúrio (Hg)	0,19
Níquel (Ni)	8
Chumbo (Pb)	5,2
Zinco (Zn)	15

Fonte: adaptado de COSTA *et al.*, 2003

Tabela 15. Valores considerados backgrounds para rochas sedimentares

Elementos	Valores propostos em mg/kg
Ferro (Fe)	9800
Selênio (Se)	0,05

Fonte: TUREKIAN E WDEPOHL (1961)

4.4.1. Índice de Geoacumulação

Na área de geoquímica define-se geoacumulação como a acumulação de espécies químicas nas superfícies de partículas, acentuada nas frações detríticas (LIMA, 2008).

Definido por Müller (1969) o índice de geoacumulação – IGEO, é usado para avaliar a contaminação do ambiente por metais. O IGEO estabelece uma razão entre as concentrações locais de metais contidos nos sedimentos e um valor padrão de referência, ou valor de “background” (Equação 1).

$$IGEO = \log_2 \frac{[Me]_{am}}{1,5.[Me]_{bg}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

[Me]_{am} = concentração do metal na amostra dos sedimentos;

[Me]_{bg} = “background” ou concentração natural do metal na área de estudo;

1,5 = fator que minimiza as possíveis variações dos valores de background para determinado metal no ambiente, assim como pequenas influências antropogênicas (SANTOLIN, 2015).

Para cálculo do IGEO foram usadas as concentrações dos elementos: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco. Com os resultados das análises em amostras realizada pela CPRM de 2009 a 2010 foi possível calcular o IGEO. Para esses elementos, valores de backgrounds foram buscados na literatura para a região estudada (Tabela 14 e Tabela 15).

Os cálculos dos índices ambientais são realizados em *excel* e classificados de acordo com o definido na literatura para cada índice.

A Tabela 16 exhibe as sete classes que correspondem ao índice de geoacumulação, que vai do não poluído até o extremamente poluído que corresponde a um enriquecimento de 100 vezes em relação ao valor de “background” definido (SANTOLIN, 2015).

Tabela 16. Classificação dos sedimentos quanto ao índice de Geoacumulação – IGEO

Classes do IGEO	Nível de contaminação
IGEO <0	Não poluído
0 < IGEO < 1	Não poluído a poluído
1 < IGEO < 2	Moderadamente poluído
2 < IGEO < 3	Moderadamente a fortemente poluído
3 < IGEO < 4	Fortemente poluído
4 < IGEO < 5	Fortemente a extremamente poluído
IGEO > 5	Extremamente poluído

Fonte: MÜLLER, 1969

4.4.2. Fator de Contaminação

Definido por Hakanson (1980), o Fator de Contaminação do sedimento estabelece uma divisão da concentração do metal no sedimento por seu valor de concentração background (Equação 2).

$$FC = \frac{[Me]_{am}}{[Me]_{bg}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

[Me]_{am} = concentração do metal na amostra dos sedimentos;

[Me]_{bg} = “background” ou concentração natural do metal na área de estudo;

Calculados os índices para cada amostra, pode-se realizar a classificação das amostras de sedimento. Essa classificação é dividida em quatro classes, que vai de baixa contaminação até alta contaminação (Tabela 17).

Tabela 17. Classificação dos sedimentos quanto ao Fator de Contaminação

Classes do FC	Qualidade dos Sedimentos
FC<1	Baixa contaminação
1 <FC< 3	Contaminação moderada
3 <FC< 6	Contaminação considerável
FC>6	Alta Contaminação

Fonte: HANKANSON, 1980

Com os dados de concentrações das 540 amostras da CPRM (2015a), o Índice de Geoacumulação e o Fator de Contaminação foi calculado para os seguintes elementos: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel e Zinco.

Os dados de concentração foram classificados de acordo com as Tabela 16 e Tabela 17, e então foram elaborados gráficos com o percentual de amostras classificadas para cada classe do IGEO e FC para cada elemento.

4.5. Monitoramento da Qualidade da Água na BHRD

O monitoramento da qualidade de água superficial deve seguir programa que inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem, além de análise em

laboratório de uma série de parâmetros, resultando em matriz de grande dimensão e complexa interpretação (SIMEONOV *et al.*, 2003).

Em Minas Gerais o Instituto Mineiro de Gestão de Água – IGAM foi criado em 1997, vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD (IGAM, 2019).

O IGAM é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas em Minas Gerais, e através do Projeto Águas de Minas ele disponibiliza uma série histórica da qualidade das águas no Estado e gera dados indispensáveis ao gerenciamento correto dos recursos hídricos (IGAM, 2019).

Com os dados de concentração de metais em água para as estações na bacia do rio Doce (IGAM, 2018) foi possível investigar a presença dos principais metais contaminantes. O fluxograma na Figura 11 apresenta a sequência realizada para a análise de contaminação de metais em água.

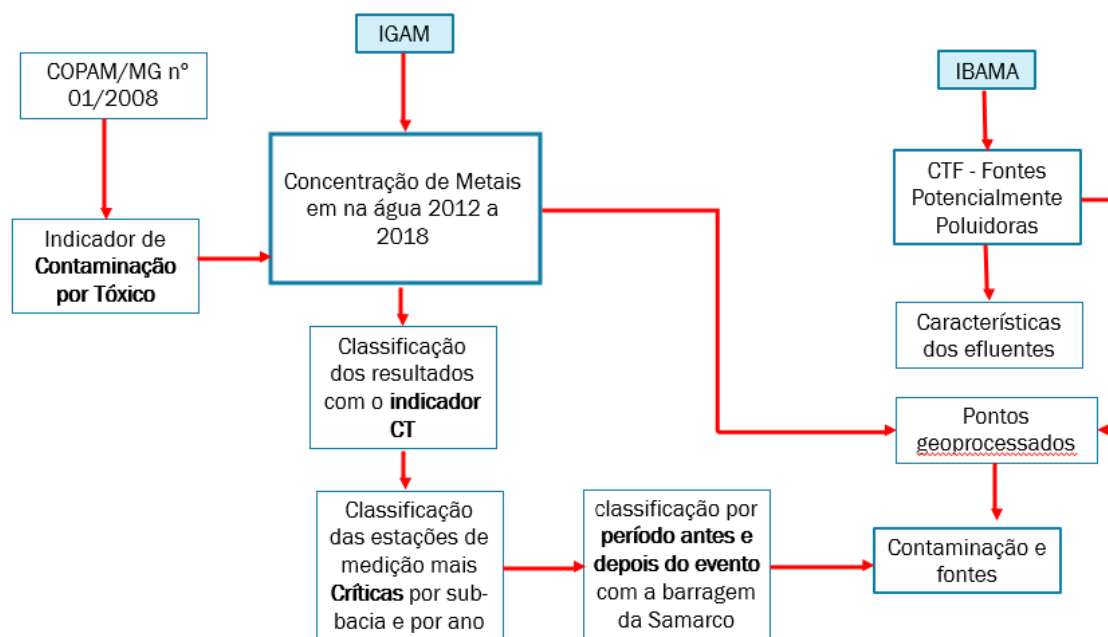


Figura 11. Fluxograma da análise da contaminação de metais em água

Fonte: Elaboração Própria

A área de abrangência do programa de monitoramento das águas superficiais inclui as principais bacias dos rios mineiros (IGAM, 2018).

Na bacia hidrográfica do Rio Doce, o IGAM, possui 66 pontos de monitoramento da qualidade de água até o ano de 2018 (Figura 12) na calha do rio Doce e ao longos das seis sub-bacias em Minas Gerais.

As três sub-bacias que completam a BHRD no Espírito Santo, são monitoradas pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA.

Quanto aos pontos de monitoramento do IEMA na bacia do rio Doce, eles são distribuídos ao longo do território estadual levando em consideração a proximidade a centros urbanos, ambientes de interesse e o monitoramento anterior de qualidade da água realizado pelo Instituto período de 2004 a 2014 (IEMA, 2017).

Em pesquisa em trabalhos acadêmicos e técnicos, verificou-se que existem 10 pontos de monitoramento do IEMA na parte capixaba da bacia do Rio Doce, sendo que os mesmos se concentram na calha do rio (Figura 12).

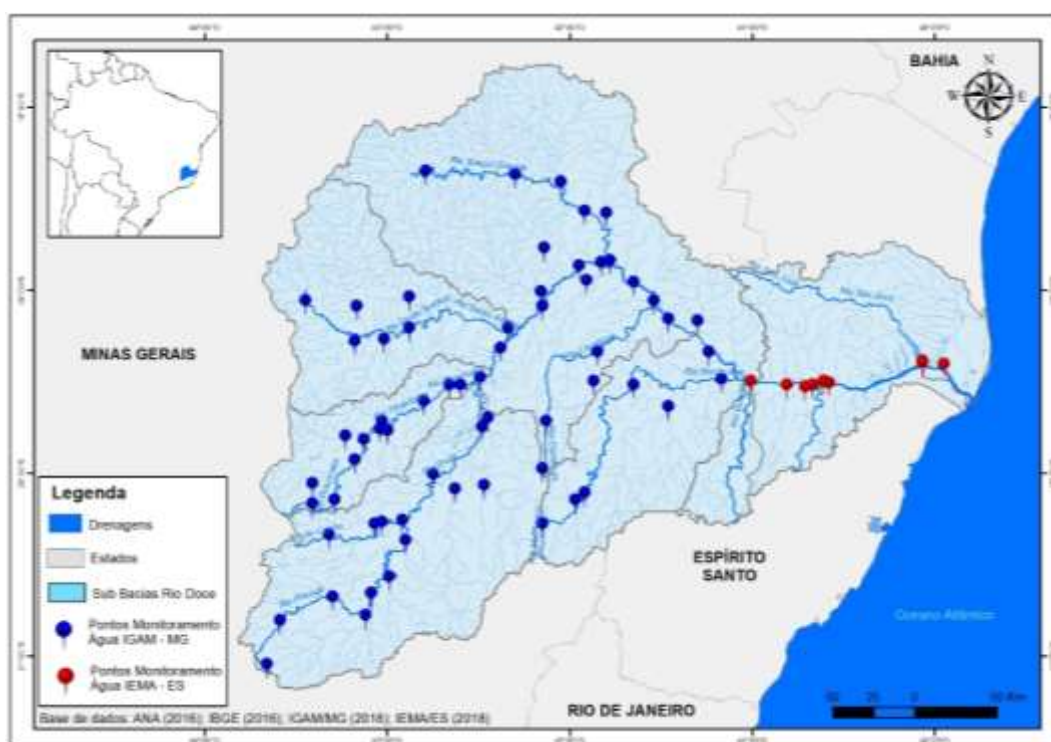


Figura 12. Pontos de Monitoramento da Qualidade de Água do IGAM/MG e IEMA/ES
Fonte: Elaboração própria a partir de IGAM (2018) e IEMA (2017)

Os parâmetros monitorados pelo IEMA são, em sua maioria, coincidentes com os monitorados pelo IGAM.

Foi realizada consulta à página virtual do IEMA, contato via *email*, através de ofício e telefone na tentativa de se obter os relatórios com os resultados das amostras de água nos pontos monitorados por eles, e não houve sucesso. Devido a essa descontinuidade do dados, a avaliação para os elementos tóxicos em água será realizada apenas para as sub-bacias da região de Minas Gerais.

Segundo IGAM (2018) as campanhas de amostragem são trimestrais, com um total anual de 4 (quatro) campanhas por estação de monitoramento, à exceção dos pontos localizados ao longo da calha principal dos rios das Velhas e Doce, nos quais as coletas têm frequência mensal.

Nestes pontos de monitoramento são analisados 19 (dezenove) parâmetros genéricos em todos os pontos, além daqueles característicos das fontes poluidoras que contribuem para a área de drenagem da estação de coleta. Em alguns pontos de amostragem são analisados ainda os parâmetros densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macroinvertebrados bentônicos (IGAM, 2018).

Na Tabela 18 são apresentados os parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos de qualidade de água analisados pelo IGAM através do “Programa Águas de Minas”.

Tabela 18. Lista de Parâmetros Monitorados pelo IGAM

PARÂMETROS		
Alcalinidade Bicarbonato	Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO*	Nitrogênio Amoniacal Total*
Alcalinidade Total	Demanda Química de Oxigênio – DQO*	Nitrogênio Orgânico
Alumínio Dissolvido	Densidade de Cianobactérias#	Óleos e Graxas
Arsênio Total	Dureza (Cálcio)	Oxigênio Dissolvido – OD*
Bário Total	Dureza (Magnésio)	pH in loco*
Boro Total	Dureza Total	Potássio
Cadmio total	Ensaio de Toxicidade Crônica#	Selênio Total
Cálcio	Estanho Total	Sólidos Dissolvidos*
Chumbo Total	Fenóis Totais	Sólidos em Suspensão*
Cianeto Livre	Feofitina*	Sólidos Totais*
Cianotoxinas#	Ferro Dissolvido	Sólidos sedimentáveis
Cloreto Total*	Fósforo Total*	Substâncias tensoativas
Clorofila a*	Macroinvertebrados bentônicos#	Sulfatos
Cobre Dissolvido	Magnésio Total	Sulfetos
Coliformes Termotolerantes/ <i>E. coli</i> *	Manganês Total	Temperatura da Água/Ar*
Coliformes Totais*	Merúrio Total	Transparência da Água
Condutividade elétrica in loco*	Níquel Total	Turbidez*
Cor Verdadeira	Nitrato*	Zinco Total
Cromo Total	Nitrito	COT em sedimentos

* Parâmetros comuns a todos os pontos nas campanhas intermediárias

Parâmetros analisados apenas em pontos específicos

Fonte: IGAM (2018)

Para avaliar a situação da qualidade dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais, o Programa Águas de Minas utiliza, além dos parâmetros monitorados, os indicadores: Índice de Qualidade das Águas – IQA, Contaminação por Tóxicos – CT, Índice de Estado Trófico - IET, Densidade de Cianobactérias e Ensaio de Ecotoxicidade, sendo que os dois últimos são realizados apenas em alguns pontos específicos (SEMAD & IGAM, 2018).

4.5.1. Indicador de Contaminação Por Tóxico

A Contaminação por Tóxicos – CT avalia a presença de 13 substâncias tóxicas nos corpos de água, quais sejam: arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total.

O presente trabalho usou o indicador de Contaminação por Tóxicos – CT para analisar os resultados de concentração em metais em água para os dados disponíveis pelo IGAM, de 2012 a 2018, para os seguintes elementos: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco. Com a utilização desse indicador é possível obter uma indicação do nível de contaminação na bacia hidrográfica do rio Doce.

Na análise utilizando o indicador de Contaminação por Tóxico, os dados de resultados de concentração de metais em água (IGAM, 2018) são comparados com os limites definidos nas classes de enquadramento dos corpos de água pelo Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH, na Deliberação Normativa Conjunta nº 01/08.

A denominação Baixa refere-se à ocorrência de substâncias tóxicas em concentrações que excedam em até 20% o limite de classe de enquadramento do trecho do corpo de água onde se localiza a estação de amostragem.

A contaminação Média refere-se à faixa de concentração que ultrapasse os limites mencionados no intervalo de 20% a 100%, enquanto a contaminação Alta refere-se às concentrações que excedam em mais de 100% os limites.

A tabela 19 apresenta as três faixas de classificação para o indicador Contaminação por Tóxico, usadas pelo IGAM (2014). Onde P significa a concentração limite do elemento definida para classe 2 COPAM/CERH nº 01/2008.

Tabela 19. Classes da Contaminação por Tóxicos e seus significados (IGAM, 2014)

Contaminação	Valor CT em relação à classe de enquadramento
BAIXA	Concentração $\leq 1,2 * P$
MÉDIA	$1,2 * P \leq$ concentração $\leq 2 * P$
ALTA	Concentração $> 2 * P$

Nota. P: Limite de classe definido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008

O indicador de Contaminação por Tóxico foi aplicado para os dados de concentração de metais, para cada sub-bacia e para cada ano de 2012 a 2018.

Em seguida, foi realizada uma classificação das estações com resultados mais críticos em relação a concentração de elementos em água, isto é, aqueles que apresentaram indicador de contaminação alta em pelo menos uma campanha das quatro campanhas que ocorrem durante cada ano.

Os demais elementos que apresentaram concentrações que indicam CT média e baixa, apesar de presentes nas amostras de águas, não foram discutidos.

Por fim, para cada sub-bacia foi destacado os metais que apresentaram contaminação alta de acordo com o indicador de Contaminação por Tóxico. E os dados foram separados em dois períodos diferentes, de 2012 a 2015 período que antecede o evento na barragem da Samarco e outro período de 2016 a 2018 período posterior ao evento com a barragem.

Cada estação de medição que indicou contaminação alta para algum elemento foi relacionada com uma provável fonte poluidora a montante.

4.6. Fontes Potencialmente Poluidoras – CTF IBAMA

A Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938 de 1981) estabeleceu o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, como de registro obrigatório para pessoas físicas ou jurídicas que “se dedicam a atividades potencialmente poluidoras e/ou a extração, produção, transporte e comercialização de produtos potencialmente perigosos ao meio ambiente” (PNMA, 1981).

Em áreas de grande ocupação e desenvolvimento industrial, o uso desse instrumento se faz com dados e informações diversos, como por exemplo, o conhecimento da localização destas atividades que é essencial para o monitoramento dos possíveis impactos que delas podem decorrer.

As informações de atividades poluidoras são organizadas a partir de ferramentas como as geotecnologias que são um conjunto de técnicas que são coletadas, processadas analisadas e colocadas à disposição com referência geográfica.

As Geotecnologias podem ser uma ferramenta poderosa para as tomadas de decisões, podendo ainda ser utilizada em diversas áreas, como a gestão ambiental, municipal e na educação (WILSON, 1985).

Essas ferramentas possibilitam uma forma de reconhecimento da localização exata das fontes de poluição, além de um banco de dados geográficos estruturados contendo limites, dados e metadados, sendo estes últimos por definição um conjunto estruturado de informações que descrevem uma fonte de dados, cujo objetivo é facilitar a gestão do uso das informações (TOMLIN, 1990).

As informações obtidas junto ao IBAMA (2018) listam 413 empreendimentos cujas atividades estão cadastradas no CTF/APP (Cadastro Técnico Federal - Atividades Potencialmente Poluidoras), para esse estudo foi feito um recorte espacial dos municípios mais populosos, foram selecionados 15 municípios abrangendo Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 13) e totalizando 298 empreendimentos com CNPJ cadastrado no CTF/APP.

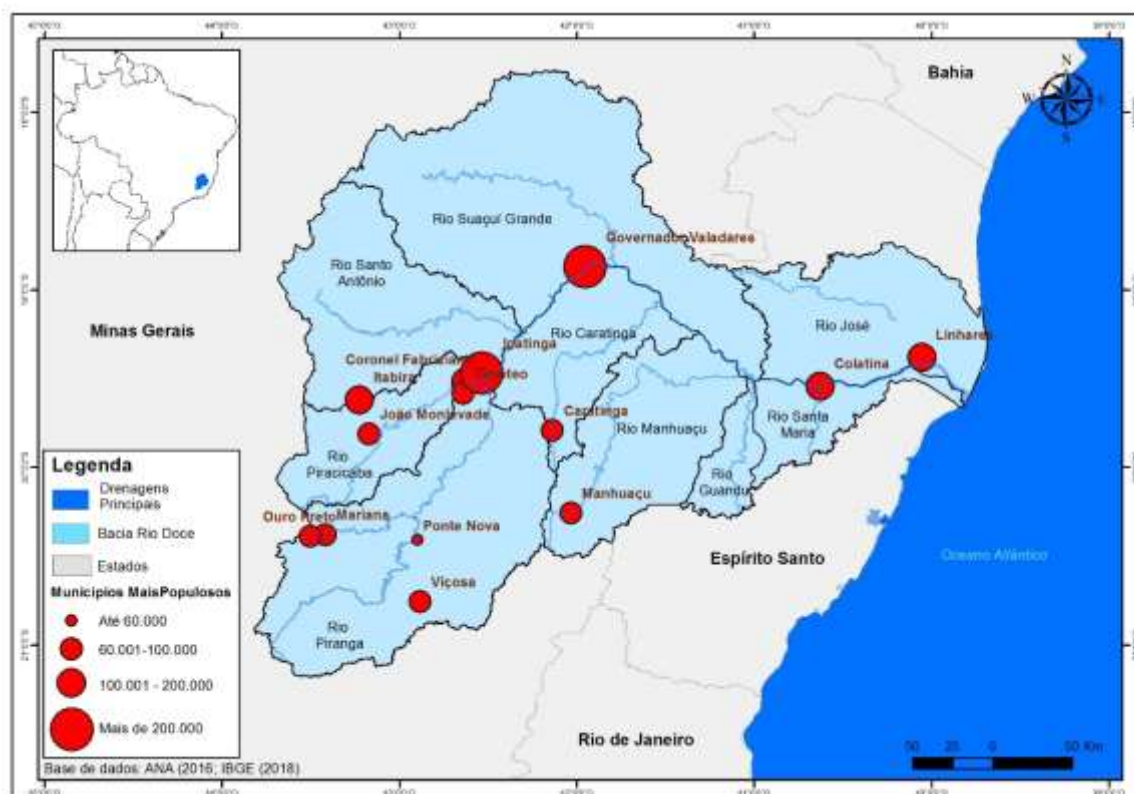


Figura 13. Municípios mais populosos da BHRD
Fonte: Elaboração Própria

Com as informações de latitude e longitude, os dados foram exportados para *shapefile* no Programa *ArcGis*, licenciado para PPE/COPPE/UFRJ. A projeção cartográfica utilizada, devido à extensão da BHRD e pelo fato da mesma estar localizada em mais de uma zona UTM, foi o sistema de coordenadas geográficas, com o DATUM de referência SIRGAS 2000, seguindo o padrão estabelecido pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

O fluxograma na Figura 14 apresenta a sequência realizada para a identificação dos efluentes das principais atividades potencialmente poluidoras, que foram apresentados com mais detalhes no capítulo 3.

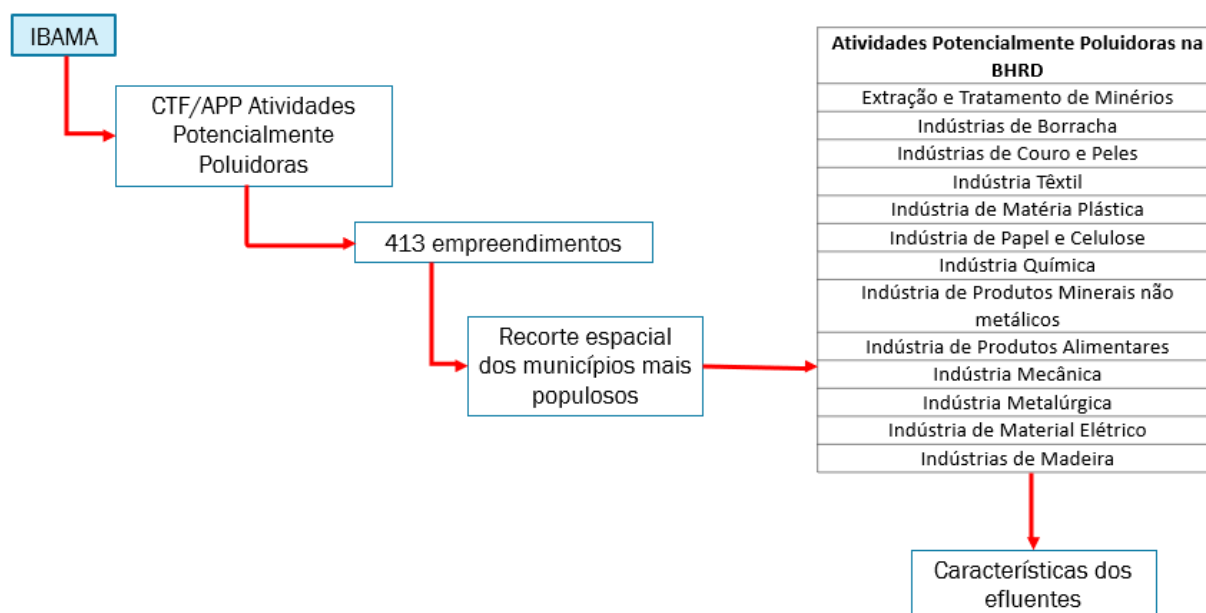


Figura 14. Fluxograma da identificação das atividades potencialmente poluidoras

Fonte: Elaboração própria

As atividades que predominam na bacia do rio Doce são:

1. Extração e Tratamento de Minérios;
2. Indústrias de Borracha;
3. Indústrias de Couro e Peles;
4. Indústrias de Madeira;
5. Indústria Têxtil;
6. Indústria de Matéria Plástica;
7. Indústria de Papel e Celulose;
8. Indústria Química;
9. Indústria de Produtos Minerais não metálicos;

10. Indústria de Produtos Alimentares;
11. Indústria Mecânica;
12. Indústria Metalúrgica;
13. Indústria de Material Elétrico.

Grande parte das atividades estão relacionadas a Indústria de Extração e Tratamento de Minerais (Figura 15).

Para as atividades potencialmente poluidoras foi realizada pesquisa em patentes e processo de produção para cada grupo de indústria, com a finalidade de conhecer o tipo de resíduo gerado, forma de tratamento dos resíduos e destinação final. O resultado dessa etapa é apresentado em detalhes no capítulo 3.

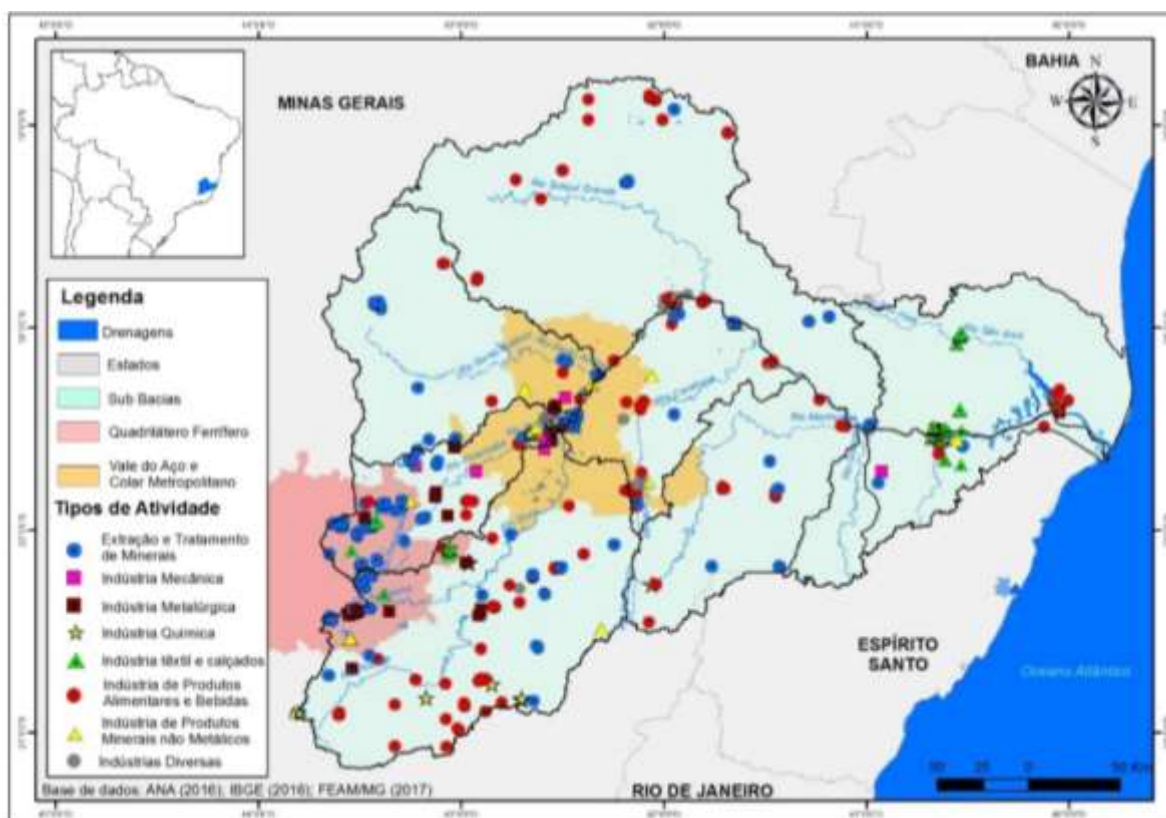


Figura 15. Atividades potencialmente poluidoras na BHRD, segundo o IBAMA 2018

Fonte: Elaboração Própria

Dispondo de informações de latitude e longitude das estações de monitoramento da qualidade da água do IGAM, dos pontos de amostras para sedimento do projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade no Brasil (Geoquímica Multiuso) e com

as informações do CTF/APP, todas essas informações foram georreferenciadas no Google Earth para o recorte na bacia do rio Doce.

E então foi realizada uma investigação das possíveis fontes de contribuições antropogênicas para dados de concentração de metais em água e sedimento, a partir do uso de índices ambientais e comparação com a legislação específica, tal análise é apresentada no capítulo de Resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da contaminação por metais na bacia do rio Doce é apresentada neste capítulo. Os dados de concentração de metais em sedimento e em água foram relacionados com as atividades potencialmente poluidoras.

5.1. Análise da Contaminação de Metais em Sedimentos na BHRD

Os resultados do mapeamento geoquímico ambiental realizado pela CPRM (2016) no período de 2009 a 2010, possibilitou uma análise quanto a contaminação de sedimentos, na bacia do rio Doce, pelos seguintes elementos: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco.

Apesar do período analisado, entre 2009 e 2010, em relação a proposta do presente trabalho, é possível considerar que esses dados são importantes para conhecimento das características geoquímicas da região do estudo.

Para o total de 540 pontos amostrados foi realizado uma quantificação dos que estavam acima dos limites da CONAMA para os elementos analisados. Além disso, para todas os pontos foram aplicados os índices de avaliação ambiental em sedimentos: Índice de Geoacumulação e Fator de Contaminação.

Para os elementos que não apresentaram concentrações acima do nível 2 da CONAMA nº 454/2012 e/ou apresentaram valores menores que o limite de detecção do equipamento, definido pela CPRM, impossibilitando o cálculo exato no uso dos índices; IGEO e FC; não serão exibidos gráficos para esses elementos.

O gráfico 1 apresenta que a maioria dos dados de amostras de sedimentos tiveram concentrações de Arsênio abaixo dos limites da CONAMA nº 454/2012, mas que um pequeno percentual (4%) indica contaminação por Arsênio nas amostras de sedimentos.

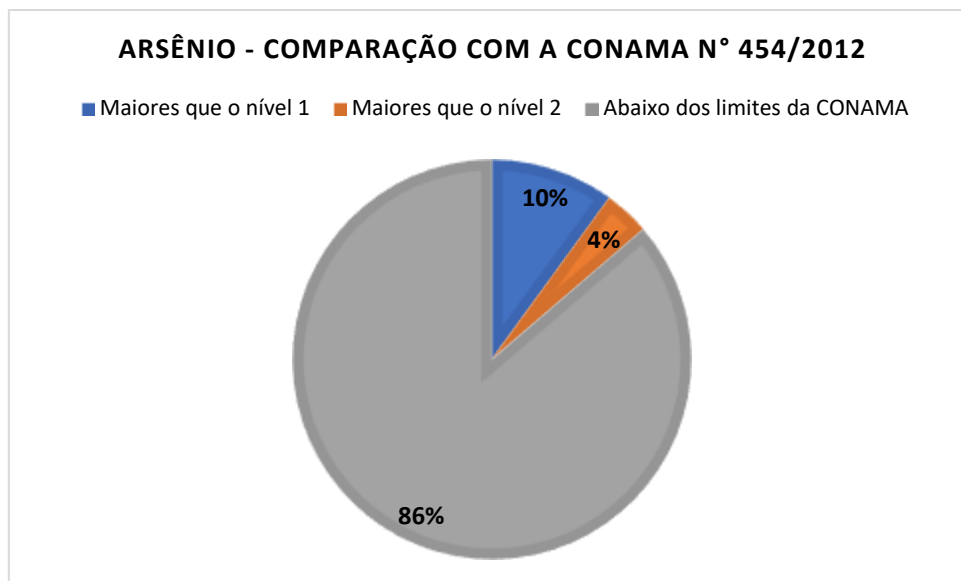


Gráfico 1. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Arsênio

Fonte: Elaboração Própria

O gráfico 2 apresenta o IGEO calculado para o Arsênio para os dados de concentração em sedimentos. De acordo com o IGEO, quase 100% das amostras se classificam como Não Poluído em toda a região da bacia do rio Doce

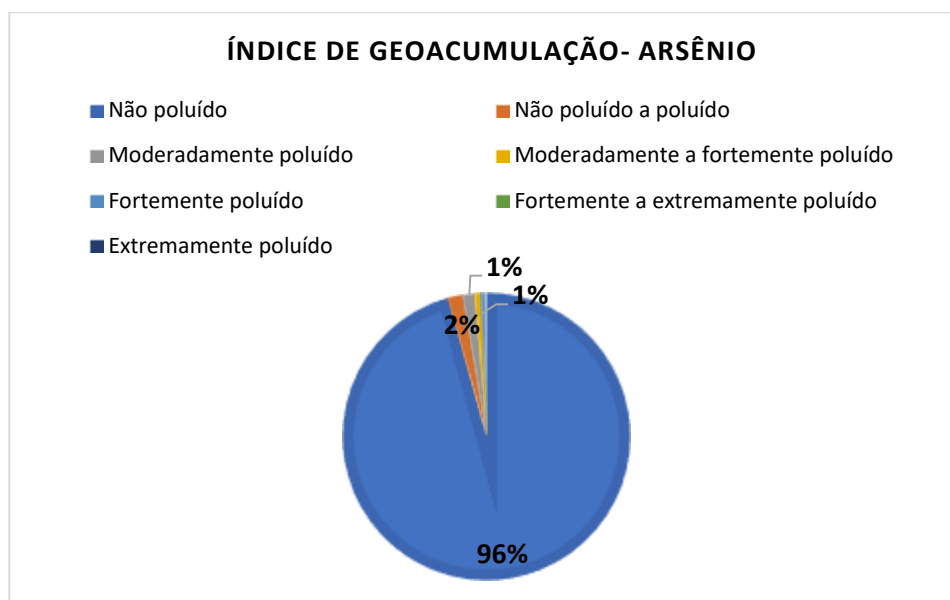


Gráfico 2. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Arsênio

Fonte: Elaboração Própria

Quanto ao Fator de Contaminação aplicado nos dados de concentração em sedimentos, aproximadamente 1% das amostras indicam contaminação Alta para Arsênio

(Gráfico 3) na bacia do rio Doce, são amostras coletadas no Rio do Carmo em Mariana, no rio Santa Bárbara na sub-bacia do rio Piracicaba em Minas Gerais, e no rio São José no Espírito Santo.

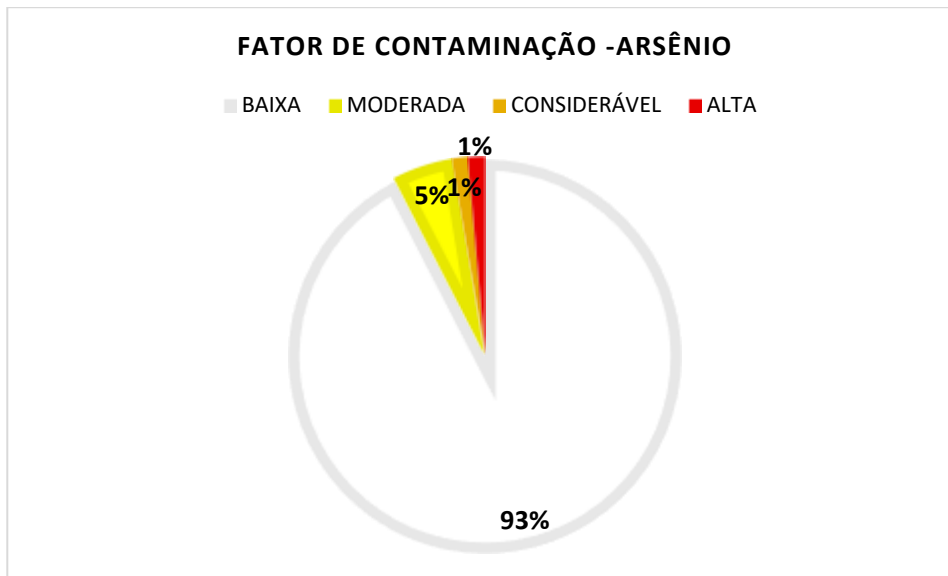


Gráfico 3. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Arsênio

Fonte: Elaboração Própria

As amostras que apresentaram valores anormais de concentração de Arsênio (Figura 16) foram coletadas em pontos nas sub-bacias dos rios Piranga (em Mariana), rio Piracicaba e rio Santo Antônio.

O mapa na Figura 16 ilustra a distribuição de concentrações de Arsênio ao longo da bacia do rio Doce. Concentrações acima de 17 ppm foram encontradas na região do Quadrilátero Ferrífero, onde a maioria das atividades industriais se destinam a extração e tratamento de minérios.

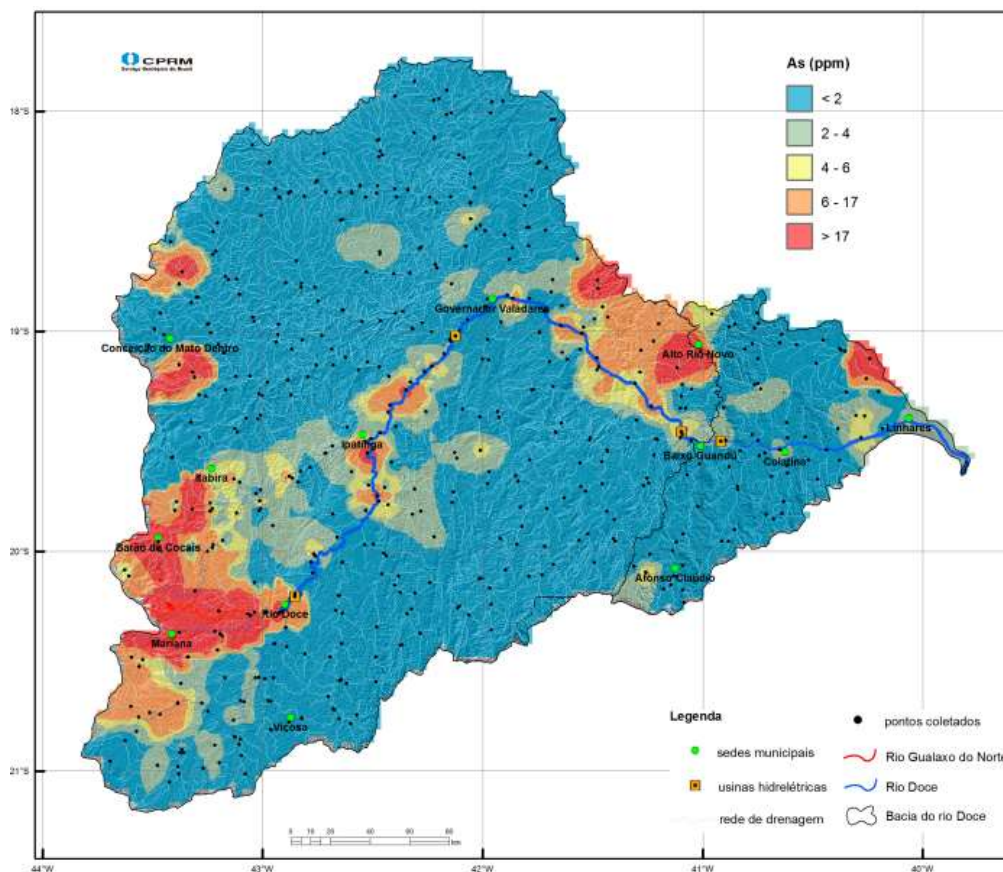


Figura 16. Mapa com a distribuição de concentrações de Arsênio em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010
Fonte: CPRM (2016)

De acordo com a CPRM (2016) anomalias para Arsênio, com concentrações com valores de até 354 ppm (limite de 17 ppm para nível 2 da CONAMA n° 454/2012), se apresentaram em pontos específicos em regiões de afloramento de rochas sulfetadas auríferas do Quadrilátero Ferrífero.

Concentrações de Arsênio, estão associadas a extração de Ouro, que durante décadas foi muito intensa no Quadrilátero Ferrífero.

Roeser e Roeser (2010) explica que do Ouro primário (nas rochas) podemos diferenciar dois tipos: Ouro que ocorre nas rochas quartzo-carbonáticas xistosas do supergrupo Rio das Velhas em paragêneses¹ clássicas com sulfetos de ferro (Pirita, FeS_2), cobre (calcopirita, CuFeS_2) e arsênio (arsenopirita, FeAsS); e o ouro que encontra-se em zonas de falhamentos dentro dos itabiritos do supergrupo Minas.

¹ Associação de minerais cuja formação obedece ao mesmo processo genético, quer em uma rocha magmática, quer em um veio hidrotermal (MICHAELIS, 2019).

Além de Arsênio associado a rochas quartzo-carbonáticas, este elemento é um dos contaminantes presentes em efluente gerados a partir da Drenagem Ácida da Mina (DAM), que é um processo natural acelerado pela movimentação de materiais sólidos, característica dos processos de lavra e beneficiamento (BORMA e SOARES, 2002).

O processo de Drenagem Ácida da Mina está associado principalmente a mineração de ouro, processo que ocorre de forma natural. A DAM é resultado do intemperismo dos sulfetos que ocorrem associados ao ouro, quando expostos a condição de maior oxidação e drenagem (ROESER E ROESER, 2010).

A Drenagem Ácida da Mina produz efluentes com ácidos carregados de metais, que em muitos casos excedem os limites aceitos pelas legislações ambientais dos diferentes países.

A toxicidade associada a DAM é relacionada às altas concentrações de metais dissolvidos, tais como Zinco, Chumbo, Cobre e Arsênio e pelo valor de pH ácido do efluente (FERREIRA, 2010).

De acordo com Ferreira (2010), efluente acidificado gerado na Drenagem Ácida, pode ocorrer tanto em minas ativas ou abandonadas, devido a lixiviação de minerais pela acidez gerada, resultando em um efluente com altos teores de espécies solúveis. Esses efluentes quando alcançam os corpos hídricos, acabam comprometendo a integridade dos mesmos.

Os dados de amostras com concentrações elevadas de Cromo, acima do nível 2 da CONAMA, representam 13% dos pontos amostrados ao longo da BHRD (Gráfico 4).

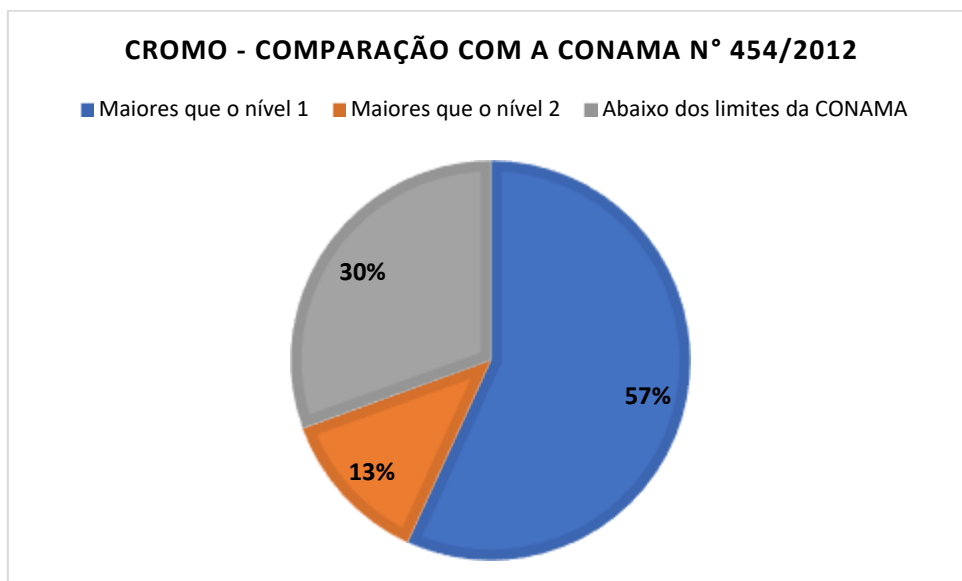


Gráfico 4. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Cromo

Fonte: Elaboração Própria

O IGEO indicou para as concentrações de Cromo, que metade das amostras se classificam como Não Poluídas (Gráfico 5).

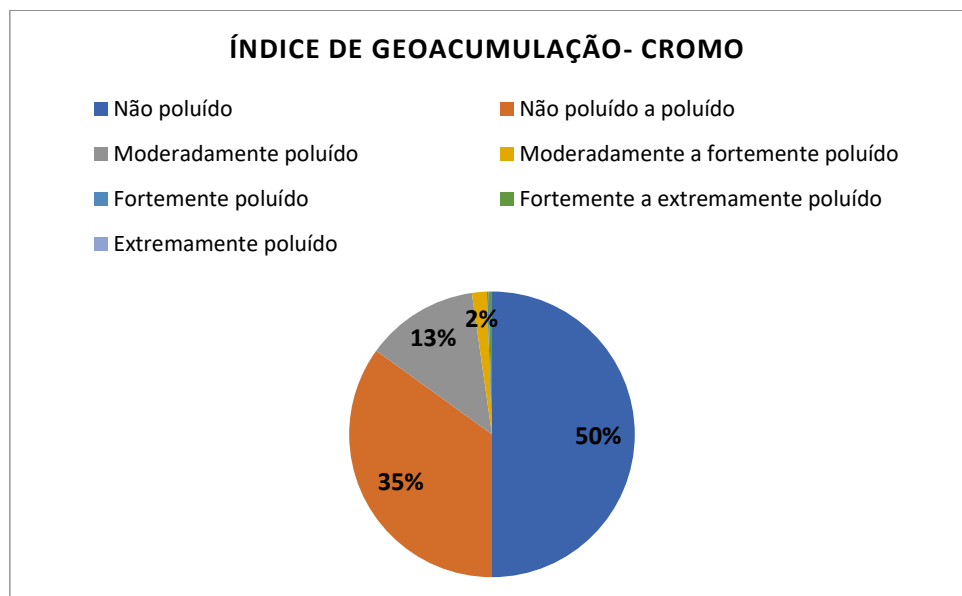


Gráfico 5. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Cromo

Fonte: Elaboração Própria

O cálculo do Fator de Contaminação indicou contaminação em nível moderada para aproximadamente metade dos dados de concentração em sedimentos (Gráfico 6).

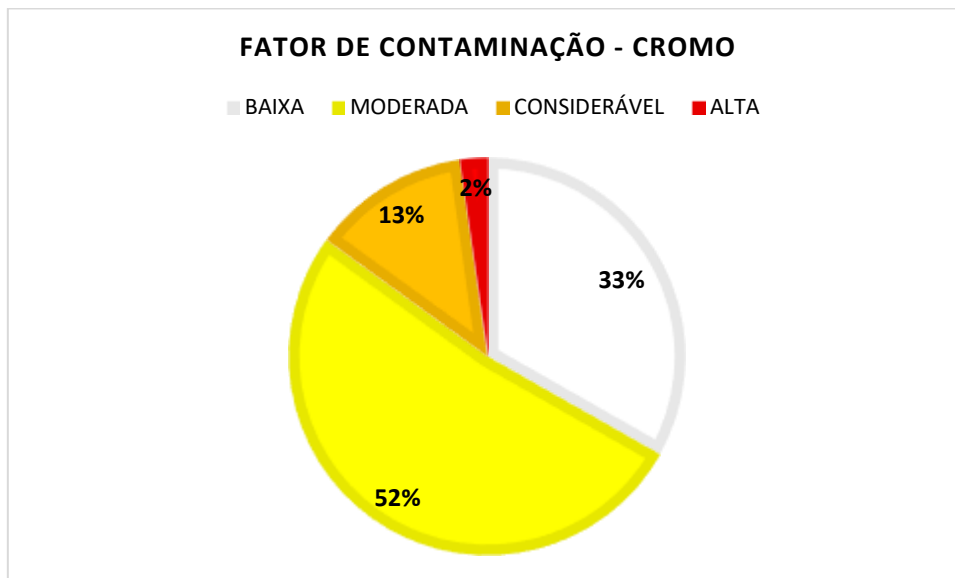


Gráfico 6. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Cromo

Fonte: Elaboração Própria

Concentrações elevadas de Cromo, encontram-se nas regiões das sub-bacias dos rios Piranga, Piracicaba, Caratinga e Santo Antônio (Figura 17). Em pontos em Alvorada de Minas (Sub-bacia Santo Antônio) a concentração chegou até 976 ppm (limite de 90 ppm para nível 2 da CONAMA nº 454/2012).

Na sub-bacia do rio Santo Antônio, na região de Serro (MG) e Alvorada de Minas (MG) são regiões que abrigam os principais depósitos de minério de Cromo bruto em Minas Gerais.

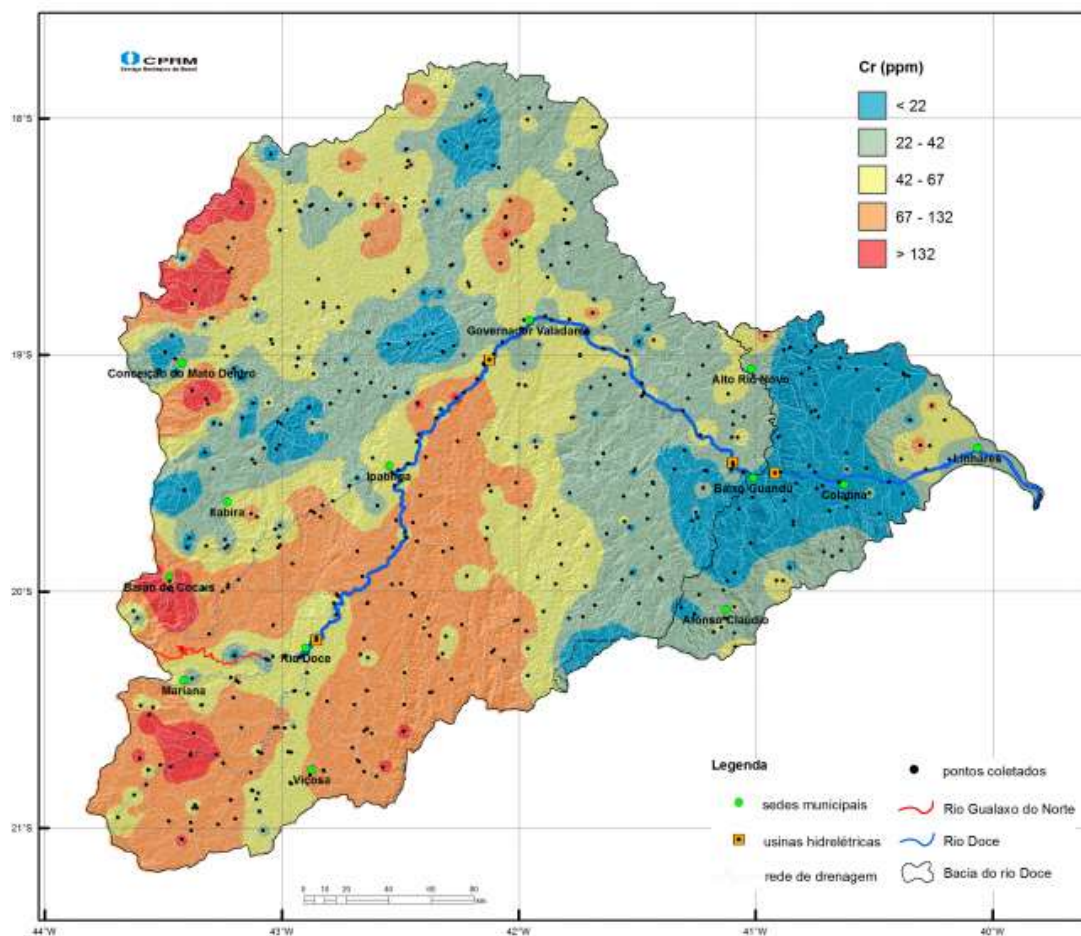


Figura 17. Mapa com a distribuição de concentrações de Cromo em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010
Fonte: CPRM (2016)

Cromo é um elemento usado na fabricação de aço inoxidável (Fe-C-Cr) e ferroligas, na indústria química, na produção de pigmentos para tinta, e de refratários (CPRM, 2016).

No Brasil, o cromo é encontrado principalmente nos estados da Bahia (distritos cromitíferos de Campo Formoso e do Vale do Jacurici), Amapá (Mazagão) e Minas Gerais (Alvorada de Minas) (CPRM, 2016).

A produção de minério de Cromo bruto em Minas Gerais é proveniente apenas de lavras de microporte, a céu aberto, com produção abaixo de 10.000 t/ano, é o que afirma o Anuário Mineral Estadual (COSTA *et al.* 2017).

Também são verificadas altas concentrações de Cromo em pontos na região das sub-bacias dos rios Piranga e Piracicaba. Cromo também está associado a extração de esmeraldas, uma vez que esse tipo de pedra preciosas é formado através de um “acidente

geológico”, que é o encontro dos elementos Cromo e Berílio (ROESER E ROESER, 2010).

Cromo e Berílio não ocorrem conjuntos na natureza, sendo cromo um elemento ligado a rochas ultramáficas² do manto e o berílio um elemento litófilo³ presente em rochas ácidas crustais, porém no nordeste do QF unidades de rochas meta-vulcânicas fazem contato com xistos ultramáficos, permitindo assim a formação da esmeralda (ROESER E ROESER, 2010).

Os dados de concentrações de Níquel em amostras se sedimentos, estão fora do estabelecido pela CONAMA em pontos distribuídos nas sub-bacias dos rios Piranga e Piracicaba. Alcançando valores de 233 ppm de Níquel (limite de 35,9 ppm para nível 2 da CONAMA n° 454/2012), em amostras em pontos no rio Caraça na sub-bacia do rio Piracicaba.

Concentrações de Níquel (Gráfico 7) acima do nível 2 da CONAMA n° 454/2012 foram registradas em 17 pontos. Em amostras retiradas no rio Caraça, rio Piracicaba, rio Piranga, e em diversos pontos ao longo das sub-bacias dos rios Piracicaba e rio Piranga.

² Rocha ígnea composta predominantemente por minerais ferromagnesianos como a olivina, a augita, o hiperstênio (CPRM, 2019).

³ Elemento químico com energia livre de oxidação maior do que a do Fe, sendo que os elementos litófilos como: Se, Be, Al, B, K, Na, Th, U, Rb, Ca, Mn, La e Ce. são os mais comuns e geoquimicamente afins com as fases silicáticas da crosta terrestre e dos meteoritos (CPRM, 2019).

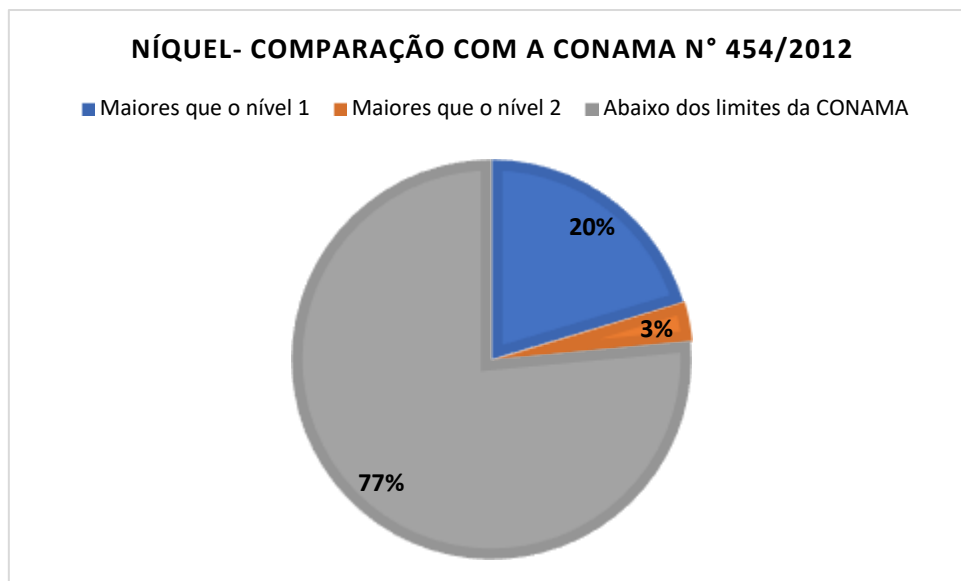


Gráfico 7. Percentual de amostras acima dos níveis 1 e 2 da CONAMA n° 454/2012 para o Níquel

Fonte: Elaboração Própria

As concentrações de Níquel (Gráfico 8) indicam, para a maioria das amostras, classificação de acordo com o IGEO, como Não Poluídas por esse metal.

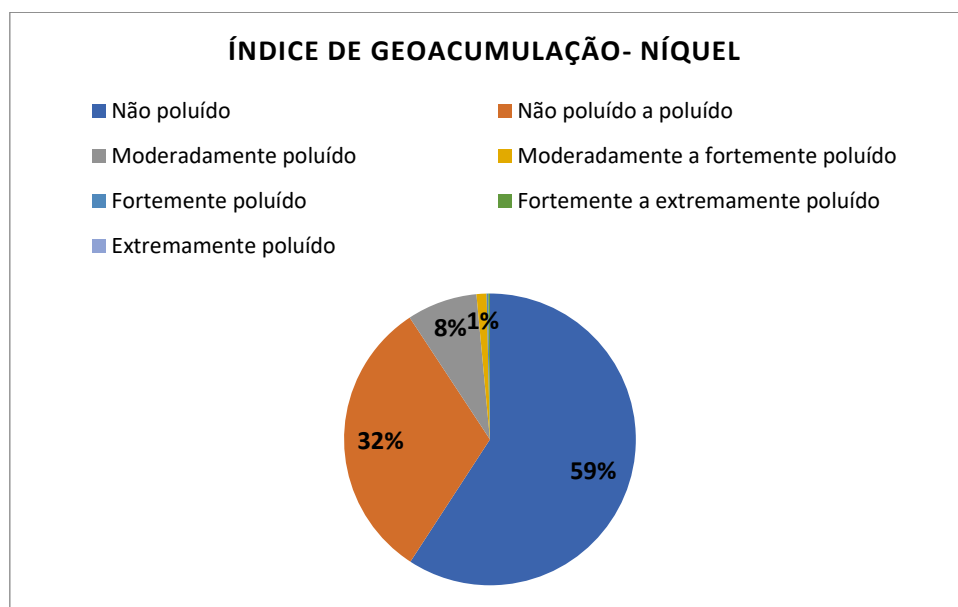


Gráfico 8. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Níquel

Fonte: Elaboração Própria

As concentrações de Níquel em mais da metade das amostras indicam contaminação moderada, de acordo com o Fator de Contaminação calculado (Gráfico 9).

Amostras com concentrações maiores, que indicam nível considerável de contaminação, representam 8% do total.

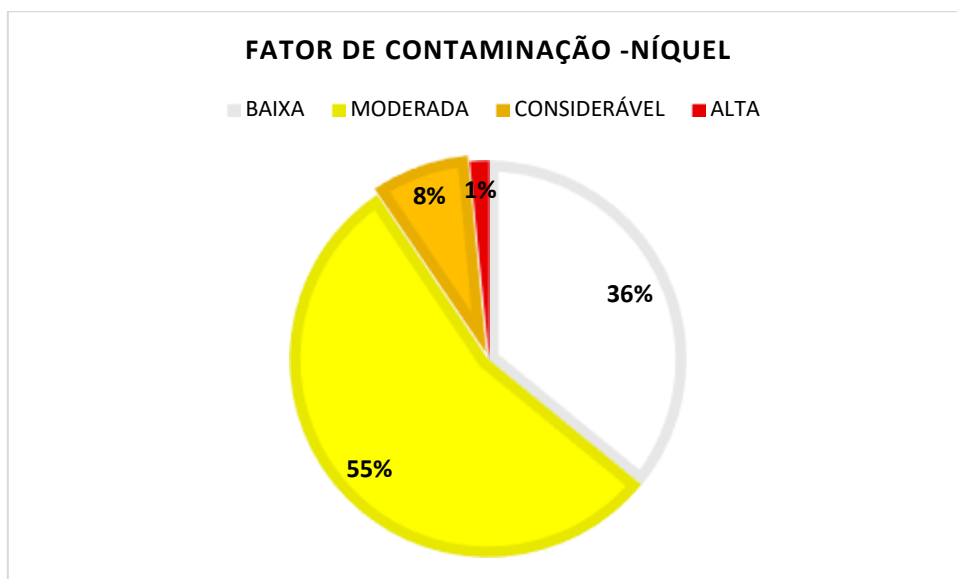


Gráfico 9. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Níquel

Fonte: Elaboração Própria

O Níquel é um metal que, frequentemente, apresenta-se associado ao Ferro. Na indústria, o Níquel é principalmente usado como componente em aços inoxidáveis, ligas não ferrosas e eletrodeposição (CPRM, 2016).

No mapa da Figura 18 observa-se concentrações de Níquel na região das sub-bacias do rio Piranga e Piracicaba. Nessas regiões, a maioria das atividades industriais se destinam a extração e tratamento de minérios, principalmente minério de ferro.

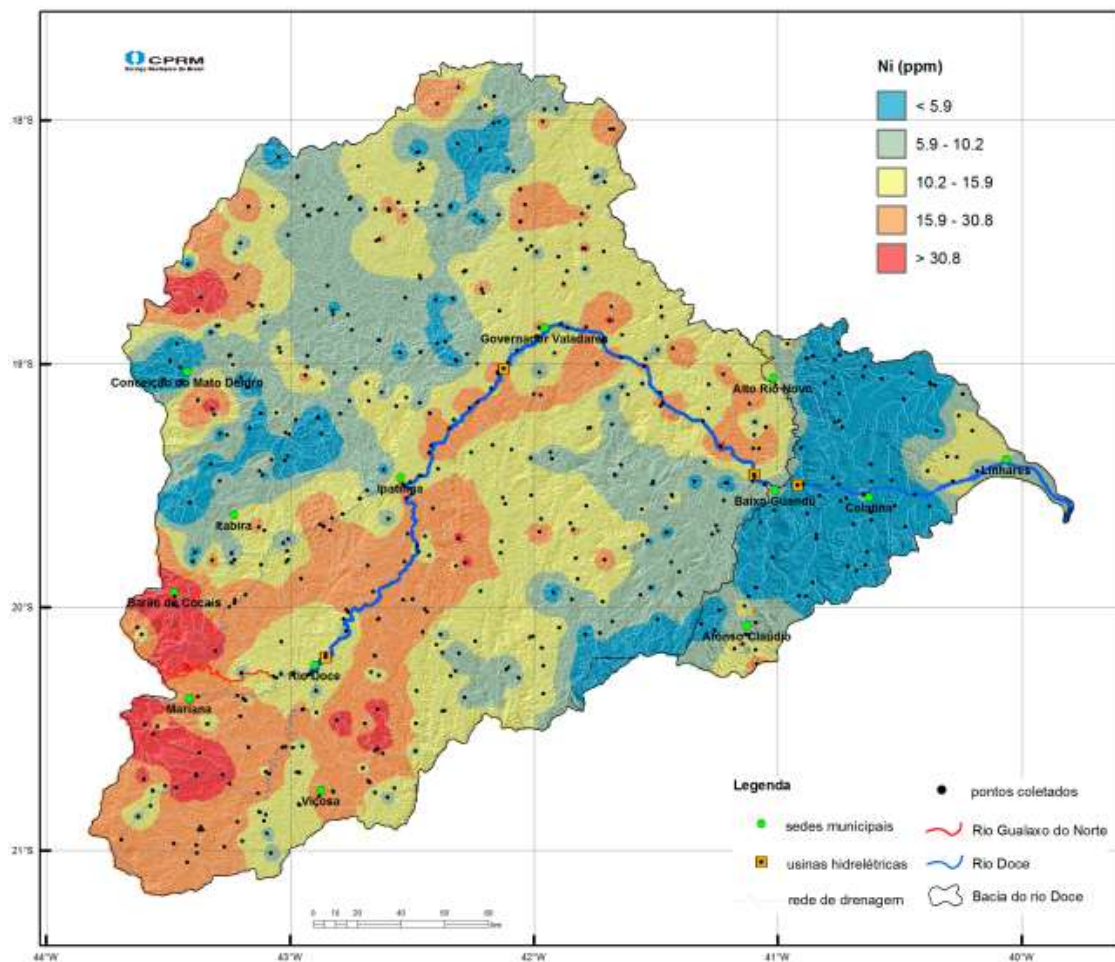


Figura 18. Mapa com a distribuição de concentrações de Níquel em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010

Fonte: CPRM (2016)

Concentrações altas de Níquel foram verificadas nas mesmas regiões nas quais concentrações de Cromo também se apresentaram de forma anômalas.

Os mesmos pontos que indicaram contaminação por Cromo, também indicaram contaminação por Níquel, isso para a região das sub-bacias dos rios Piranga e Piracicaba. E isso está relacionado com atividades de extração e beneficiamento de minério de Ferro.

Garnier e colaboradores (2006) investigaram os teores de Cromo em solos ultramáficos em Niquelândia (GO), afim de avaliar a sua biodisponibilidade. Os autores concluíram que concentrações de Cromo são particularmente altos nos solos estudados e sua partição entre a fase sólida varia com a posição na paisagem e na profundidade, e que a maior parte do Cr está associada aos óxidos de Ferro.

Pires e colaboradores (2003) avaliou os impactos causados pela exploração e pelo beneficiamento do minério de Ferro em uma mina da Samarco Mineração, em Minas Gerais. Os autores realizaram testes que indicaram que o resíduo acumulado tem

capacidade de retenção de Cromo (Cr) e que os sedimentos acumulados (formados principalmente pelo mineral goethita) funcionam na retenção de metais pesados e diminuem a dispersão de poluentes (PIRES *et al.*, 2003).

Concentrações de Cromo e Níquel em sedimentos, que apresentaram valores altos nos dados analisados da CPRM (2016) estão associados a exploração e beneficiamento do minério de Ferro.

Além dos elementos já discutidos, os metais: Alumínio, Ferro, Chumbo, Cobre e Zinco, apresentaram indicação de contaminação moderada a alta quando aplicados os índices IGEO e FC.

O único elemento que apresentou contaminação como Extremamente Poluído, $IGEO > 5$, foi o Alumínio em uma amostra no rio Suaçuí Pequeno em 2010 na sub-bacia do Rio Suaçuí Grande.

O cálculo do IGEO para o Alumínio (Gráfico 10), indicou que a maioria das amostras foram classificadas em Moderadamente a Fortemente Poluído.

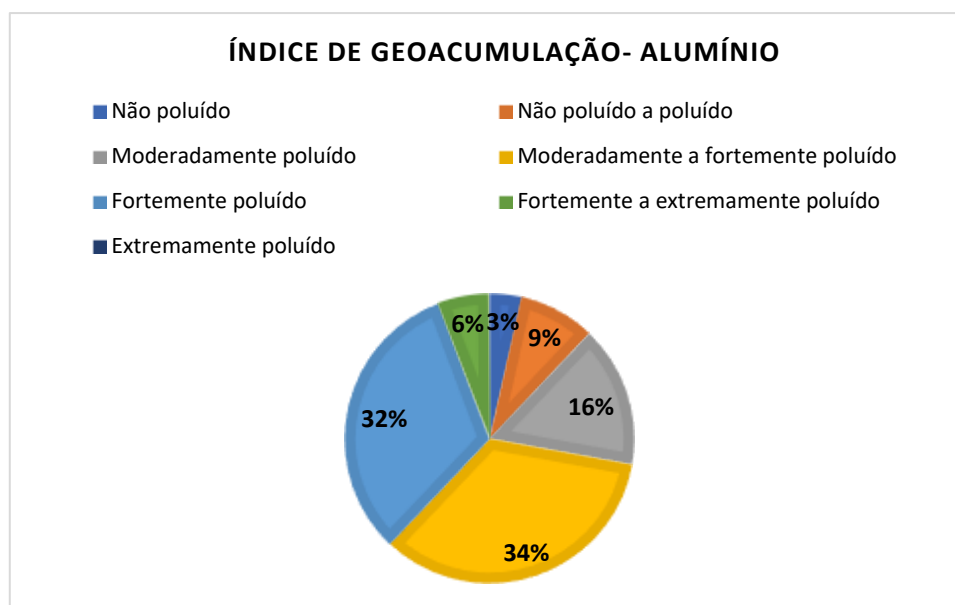


Gráfico 10. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Alumínio

Fonte: Elaboração Própria

O Fator de Contaminação calculado para as concentrações de Alumínio, indicam que 73% das amostras distribuídas por toda bacia do rio Doce têm contaminação Alta desse metal (Gráfico 11). As amostras que indicam contaminação alta foram coletadas em pontos nas sub-bacias dos rios Caratinga, Piranga e Manhuaçu.

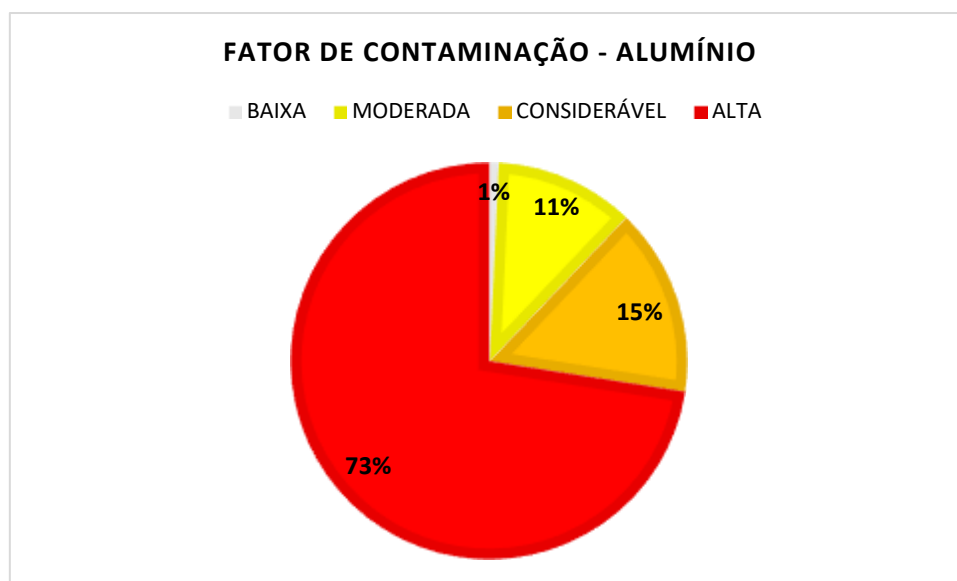


Gráfico 11. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Alumínio

Fonte: Elaboração Própria

Concentrações elevadas de Alumínio em sedimentos, foram identificadas em amostras em pontos nas sub-bacias dos rios Suaçuí Grande, Caratinga e Manhuaçu (Figura 20). São pontos na região conhecida como Vale do Aço e Colar Metropolitano.

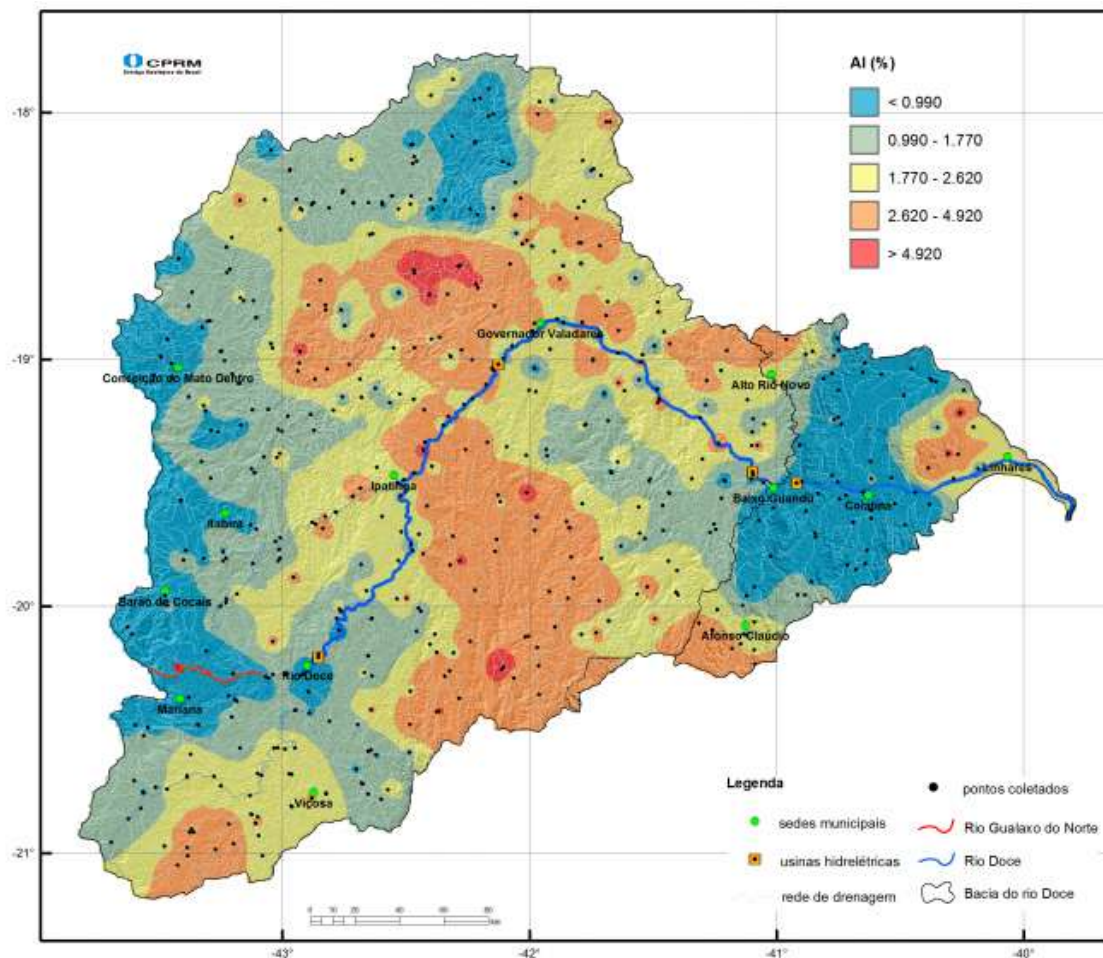


Figura 19. Mapa com a distribuição de concentrações de Alumínio em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010

Fonte: CPRM (2016)

O Alumínio é o metal que existe em maior quantidade na crosta terrestre, sendo o terceiro elemento mais abundante. Porém, ele não é encontrado livre na natureza, mas nos minerais silicatados combinado com ferro, metais alcalinos e alcalino-terrosos (CPRM, 2016).

O Alumínio é obtido através da Bauxita. No Brasil, as principais reservas de bauxita estão nos estados do Pará (90%), Minas Gerais (7%), São Paulo e Goiás (PINHEIRO et al., 2016). As minas mais produtivas em operação estão nas cidades de Poços de Caldas e Miraf (CODEMGE, 2019).

A CODEMGE (2019) exhibe uma relação das principais ocorrências de bauxita do estado de Minas Gerais, dentre elas foi comprovada ocorrência de bauxita identificada na Cabeceira do rio Manhuaçu, em Manhuaçu, mas que ainda não foi explorado.

Dispondo das coordenadas geográficas da Cabeceira do rio Manhuaçu, verificou-se que essa região é muito próxima aos pontos que indicam contaminação por

Alumínio. Logo, a concentrações elevadas de alumínio nessa região, é também contribuição natural.

Para as concentrações de Cobre, 43% dos pontos foram classificadas como Não Poluídas a Poluídas, de acordo com o IGEO, indicando um nível baixo de poluição (Gráfico 12).

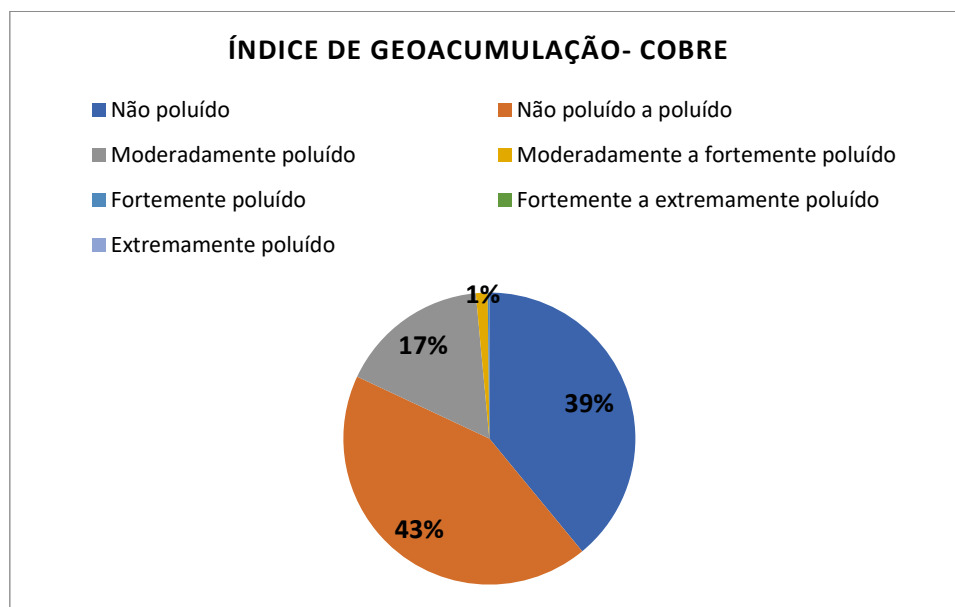


Gráfico 12. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Cobre

Fonte: Elaboração Própria

O cálculo do FC indica contaminação moderada a considerável de Cobre distribuídas ao longo da bacia do rio Doce (Gráfico 13).

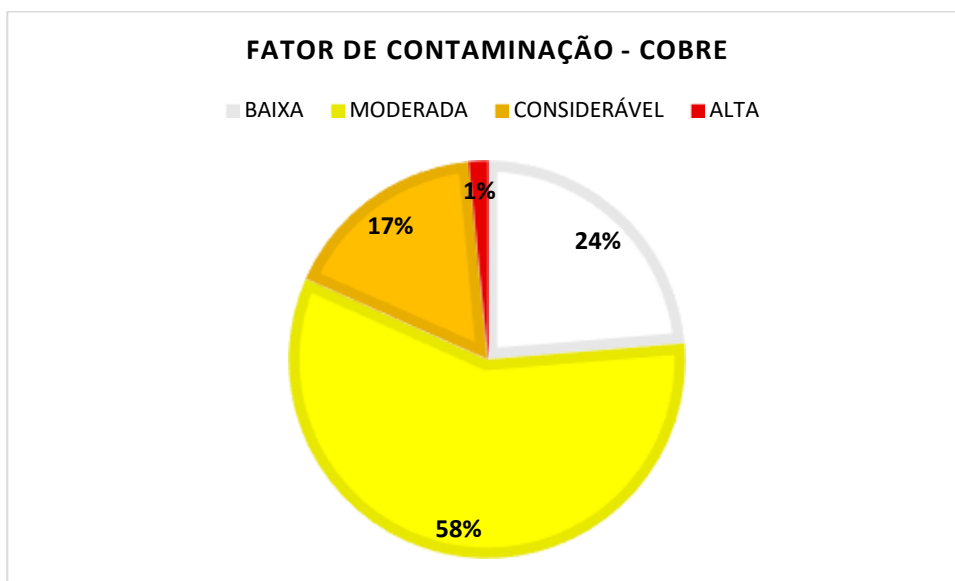


Gráfico 13. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Cobre

Fonte: Elaboração Própria

Quando calculados os índices ambientais, verificou-se que alguns dados de concentrações de Cobre indicaram contaminação. Isso acontece porque esses índices usam valores de backgrounds nos cálculos, para o Cobre esse valor é de 8,0 ppm, proposto por Costa e colaboradores (2003) para a região estudada.

Entretanto, concentrações de Cobre em sedimentos possuem limites estabelecidos na CONAMA n° 454/2012, que é de 35,7 ppm para o nível 1 e de 197 ppm para o nível 2. Quando confrontados com a referida norma, os dados de 2009 a 2010 (CPRM, 2016) não apresentaram nenhum valor de concentração acima de 197 ppm em toda bacia do rio Doce, o que indica que não há concentrações que possam causar efeito adverso a biota (CONAMA, 2012).

O IGEO calculado para as concentrações de Ferro indicam que quase metade (48%) das amostras são classificadas com um nível moderado de poluição (Gráfico 14). As concentrações de Ferro, em 17% dos dados de amostras foram classificadas como Moderadamente a Fortemente Poluídas.

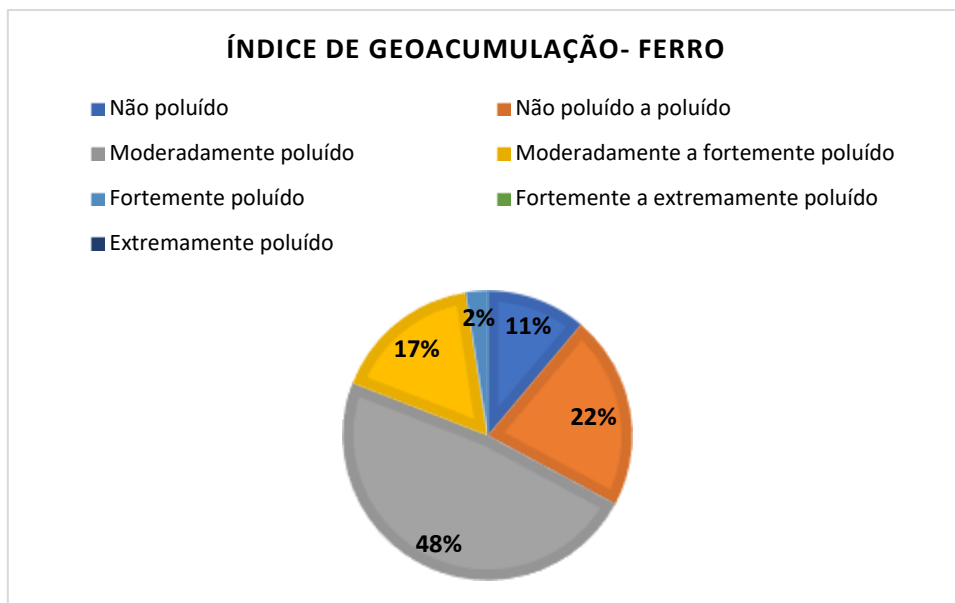


Gráfico 14. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Ferro
Fonte: Elaboração Própria

De acordo com o FC, o Ferro está presente com contaminação classificada como considerável em quase metade das amostras (Gráfico 15). O Fator de Contaminação indica que aproximadamente 20% dos pontos possuem contaminação alta de Ferro. E quase metade (48%) dos dados com contaminação considerável de Ferro.

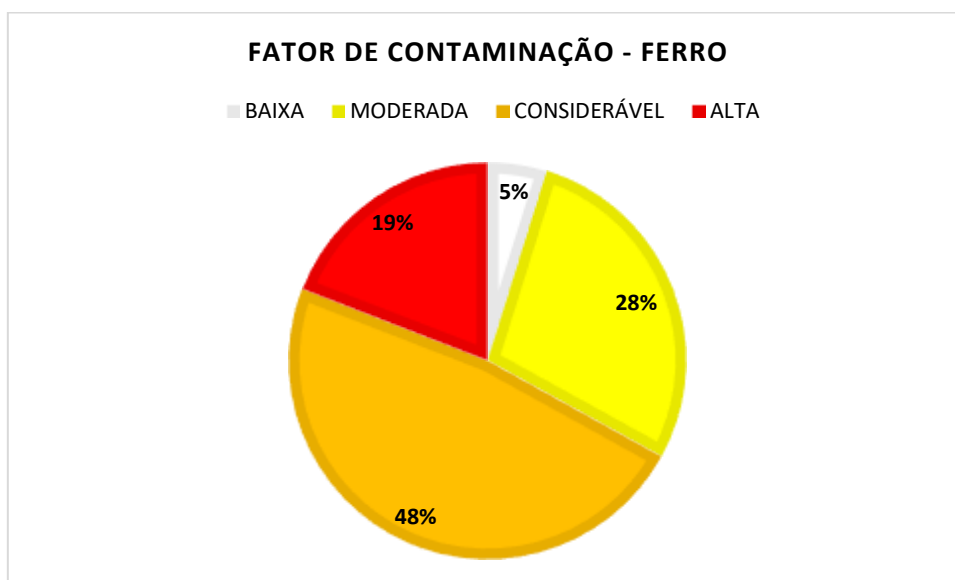


Gráfico 15. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Ferro
Fonte: Elaboração Própria

Os maiores depósitos de Ferro, no Brasil, ocorrem em Carajás no Pará, Minas Gerais no Quadrilátero Ferrífero e Mato Grosso do Sul (CPRM, 2016).

Nos dados de sedimentos da CPRM (2016), as concentrações de Ferro são mais elevadas na região do Quadrilátero Ferrífero (Figura 20), entre Mariana e Itabira, os pontos com essas concentrações mais elevadas desse metal seguem ao longo das bacias dos rios do Carmo e Piracicaba e continuando pelo rio Doce até pouco antes de Governador Valadares.

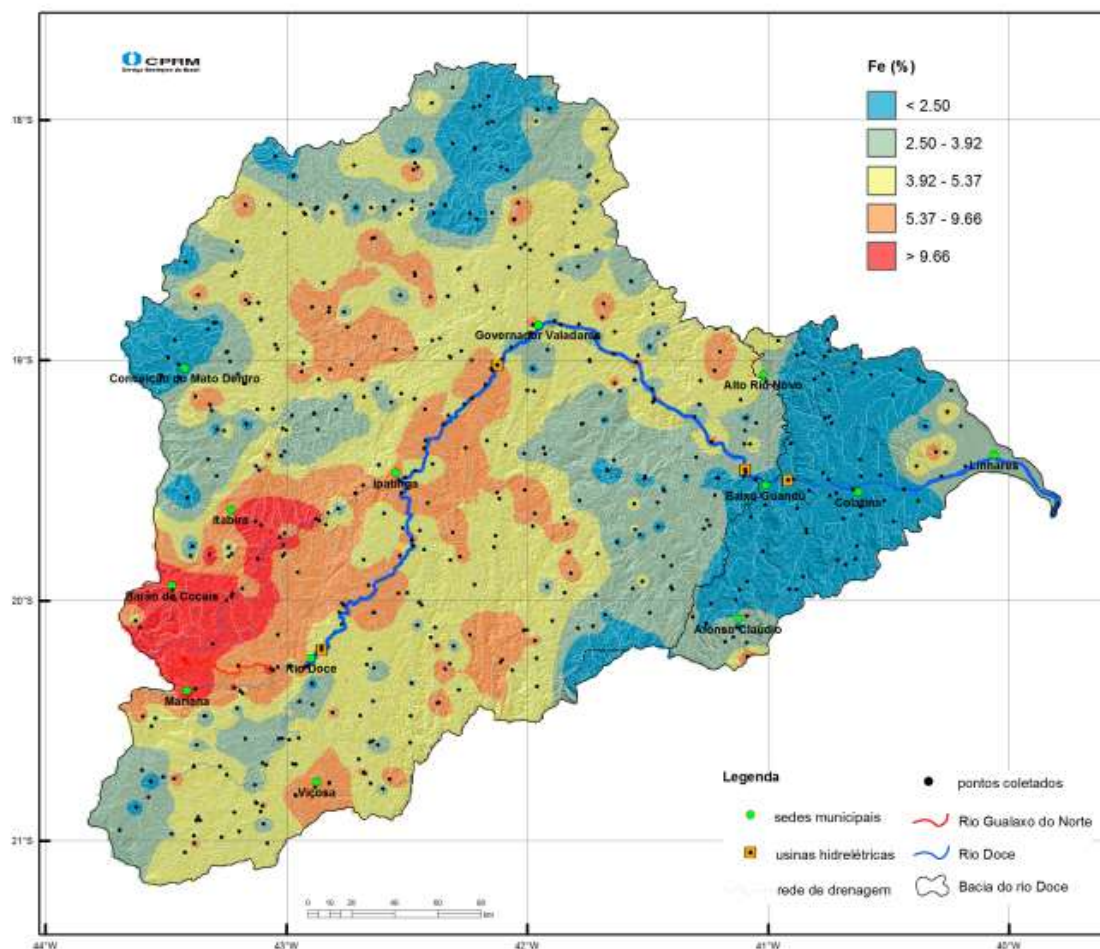


Figura 20. Mapa com a distribuição de concentrações de Ferro em sedimentos na BHRD nas amostras de 2009 a 2010

Fonte: CPRM (2016)

As maiores concentrações de Ferro em sedimentos são na região do Quadrilátero Ferrífero nas sub-bacias dos rios Piranga e Piracicaba, isso é observado no gráfico da figura 20. Nessas regiões se concentram grande mineradoras de ferro, como a Vale do Rio Doce.

A Vale possui lavras a céu aberto localizadas em Mariana, Ouro Preto e Itabira.

A região do Quadrilátero Ferrífero é conhecida mundialmente pela intensa atividade de exploração de Ouro e Ferro. O que explica a presença em abundância de pontos com altas concentrações de Ferro.

Além de atividades de mineração, o Quadrilátero Ferrífero é composto também por grandes metalúrgicas.

Aproximadamente metade dos empreendimentos listados no setor metalúrgico, ao longo da bacia do rio Doce, estão instalados em Ouro Preto, na região do Quadrilátero Ferrífero (IBAMA, 2018). Deste total, 30% se localizam entre Timóteo e Ipatinga na região da bacia do rio Piracicaba.

Assim como, a atividade de extração de minérios, indústrias metalúrgicas se concentram, principalmente nas sub-bacias do rio Piranga e rio Piracicaba.

Para as concentrações de Chumbo, o IGEO calculado indica que as amostras estão distribuídas quase que igualmente para os níveis de Não Poluído, Não Poluído a Poluído e Moderadamente Poluído (Gráficos 16).

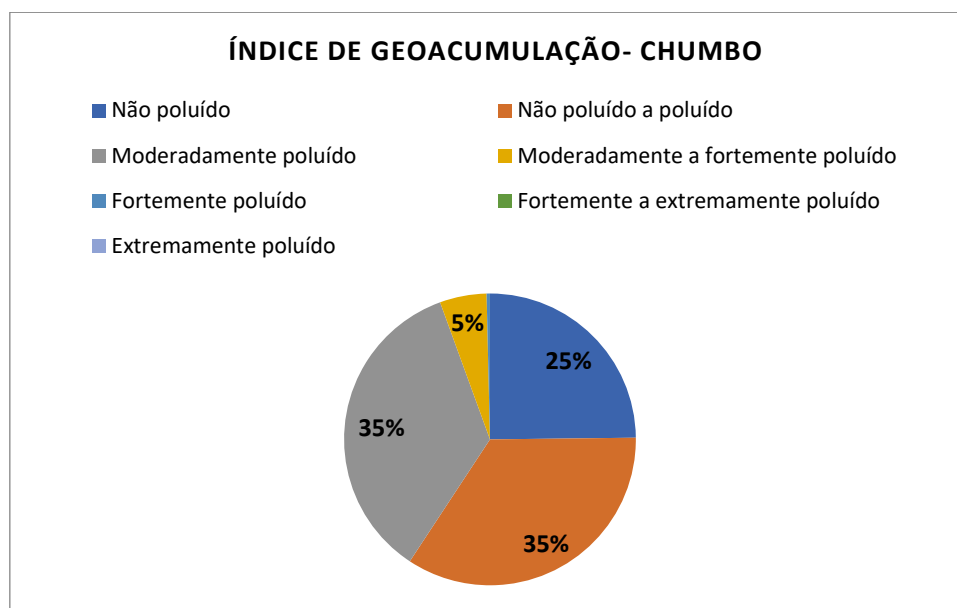


Gráfico 16. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Chumbo

Fonte: Elaboração Própria

O Fator de Contaminação calculado para as concentrações de Chumbo indica que quase metade das amostras indicam contaminação moderada (Gráfico 17).

O Chumbo apresenta FC que indica contaminação alta em alguns pontos distribuídos na sub-bacia do rio Santo Antônio e na sub-bacia do rio Guandu em Afonso Cláudio (ES). A contaminação moderada é para as concentrações de Chumbo em

amostras em pontos nas sub-bacias dos rios Piranga, Piracicaba, Santo Antônio, Suaçuí Grande e Guandu.

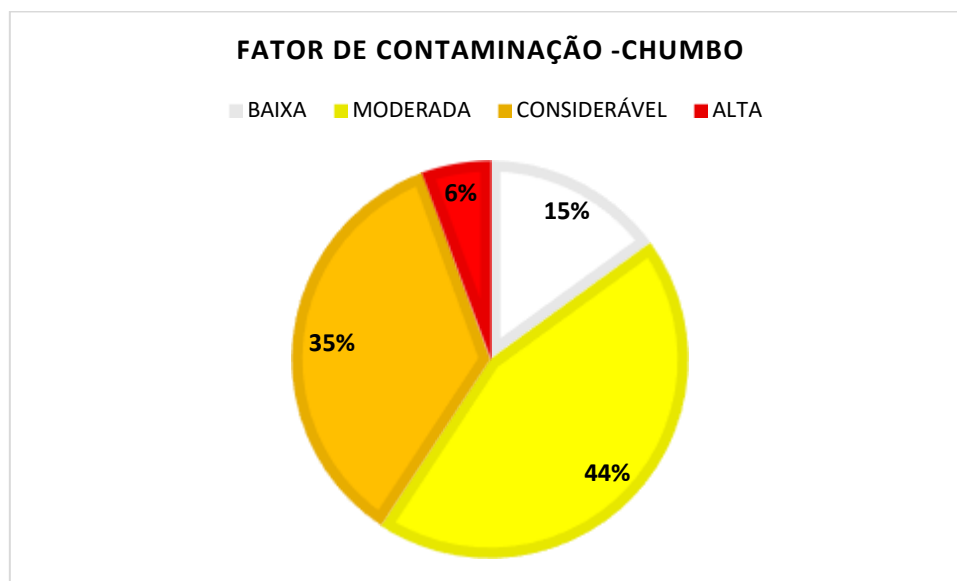


Gráfico 17. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Chumbo

Fonte: Elaboração Própria

Apesar de índices ambientais indicarem contaminação de moderada a alta para Chumbo em sedimentos, isso é observado porque esses índices usam valores de backgrounds nos cálculos, e para o Chumbo esse valor é de 5,2 ppm, proposto por Costa e colaboradores (2003).

No entanto, concentrações de Chumbo em sedimentos possuem limites estabelecidos na CONAMA n° 454/2012, que é de 35 ppm para o nível 1 e de 91,3 ppm para o nível 2. Quando confrontados com a referida norma, os dados de 2009 a 2010 (CPRM, 2016) não apresentaram nenhum valor de concentração acima de 91,3 ppm em toda bacia do rio Doce. O que indica que não há concentrações que possam causar efeito adverso a biota (CONAMA, 2012).

Para as concentrações de Zinco, o IGEO calculado indica que as amostras estão distribuídas quase que igualmente para os níveis de Não Poluído, Não Poluído a Poluído e Moderadamente Poluído (Gráficos 18).

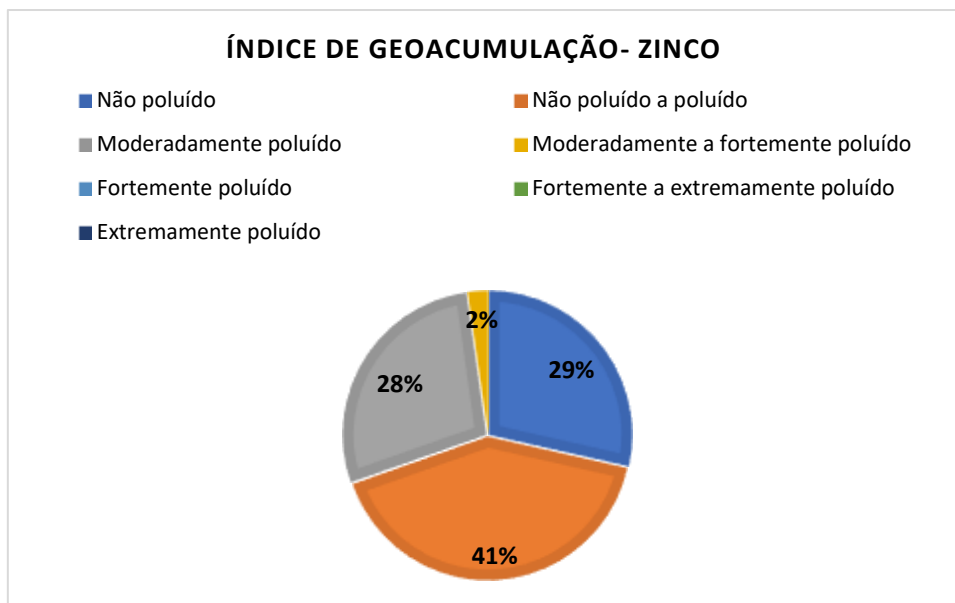


Gráfico 18. Percentual de amostras classificadas com os níveis de IGEO para o Zinco
Fonte: Elaboração Própria

O cálculo do FC indicou contaminação moderada de Zinco em metade dos dados analisados para sedimentos (Gráfico 19). O Fator de Contaminação indica contaminação considerável em amostras ao longo das sub-bacias dos rios Piranga, Santo Antônio, Caratinga, Piracicaba e o Suaçuí Grande.

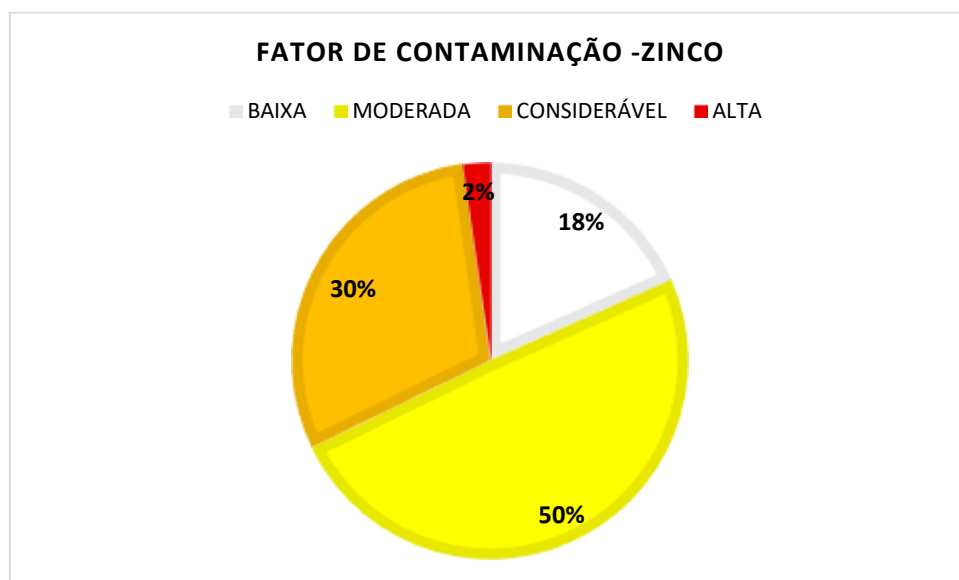


Gráfico 19. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Zinco
Fonte: Elaboração Própria

Os cálculos dos índices ambientais, indicaram contaminação moderada de Zinco nos dados de sedimentos, isso acontece porque esses índices usam valores de backgrounds nos cálculos. Para o Zinco esse valor é de 15 ppm, proposto por Costa e colaboradores (2003) para a região estudada.

Portanto, concentrações de Zinco em sedimentos possuem limites estabelecidos na CONAMA n° 454/2012, que é de 123 ppm para o nível 1 e de 315 ppm para o nível 2. Quando confrontados com a referida norma, os dados de 2009 a 2010 (CPRM, 2016) não apresentaram nenhum valor de concentração acima de 315 ppm em toda bacia do rio Doce, o que indica que não há concentrações que possam causar efeito adverso a biota (CONAMA, 2012).

O Mercúrio, na maioria das amostras apresentou contaminação baixa, de acordo com o Fator de Contaminação calculado (Gráfico 20). Um total de 12 % das amostras indica contaminação moderada de Mercúrio, essas amostras foram retiradas em pontos nas sub-bacias dos rios Piranga, Manhuaçu, São José e Guandu.

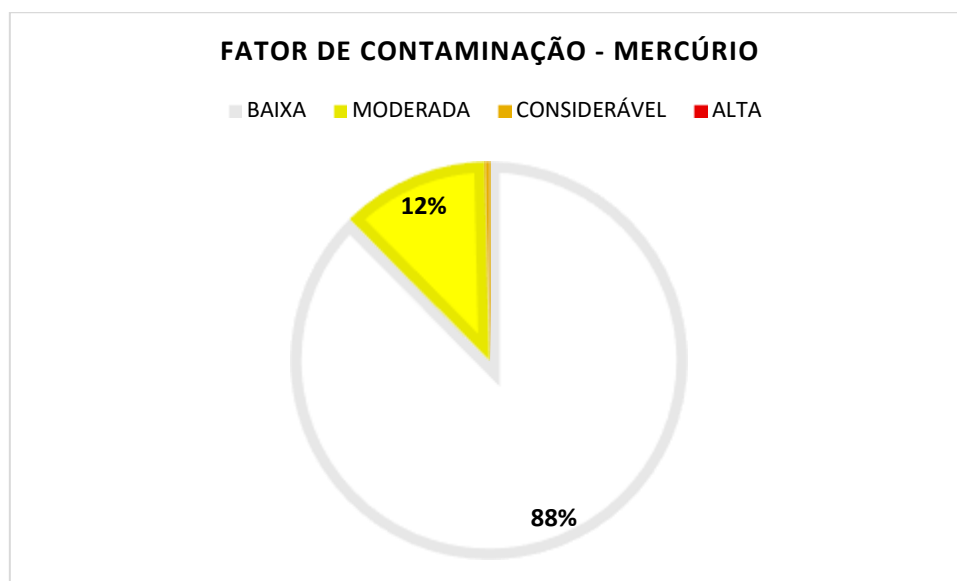


Gráfico 20. Percentual de amostras classificadas com os níveis do Fator de Contaminação para o Mercúrio

Fonte: Elaboração Própria

5.2. Análise da Contaminação de Metais em Água na BHRD

5.2.1. Contaminação por Tóxicos para 2012 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) são apresentados nas Tabela 20 a Tabela 24 para o ano de 2012 nas sub-bacias do rio Doce.

Para as sub-bacias dos rios: Piranga (D01), Piracicaba (D02), Santo Antônio (D03), Suaçuí Grande (D04) e Caratinga (D05) há frequência de concentração que indica contaminação alta para Manganês e Ferro.

Apenas para a sub-bacia do rio Manhuaçu (D06) não foram verificadas, em 2012, nenhuma ocorrência de concentração que justificasse contaminação alta para os elementos analisados.

Tabela 20. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2012

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2012 na bacia do rio Piranga - D01							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD007	Rio Piranga	Porto Firme	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Arsênio	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
			Manganês	ALTA	-	ALTA	-
RD013	Rio Piranga	Ponte Nova	Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD018	Rio Casca	Rio Casca e São Pedro dos Ferros	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD019	Rio Doce	Rio Casa e São Domingos do Prata	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo D'água	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD068	Rio Piranga	Ressaquinha	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
RD070	Rio Turvo	Guaraciaba	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa	Arsênio	ALTA	MÉDIA	<	<
			Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD072	Rio Doce	Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 21. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2012

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2012 na bacia do rio Piracicaba - D02							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD025	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD029	Rio Piracicaba	Nova Era	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD032	Rio Piracicaba	Antônio Dias	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD035	Rio Doce	Ipatinga	Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD074	Rio Piracicaba	Mariana	Manganês	ALTA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
RD075	Rio Piracicaba	Alvinópolis	Manganês	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

Tabela 22. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2012

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2012 na bacia do rio Santo Antônio - D03						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre
QO01	Córrego Passa-Sete	Alvorada de Minas	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
QO02	Córrego Água Santa	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
			Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA
QO03	Córrego Água Santa	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
QO04	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
QO05	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA
QO06	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA
QO08	Afluente do Córrego Pereira	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA
QO09	Córrego Pereira/ponte da MG-010	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
QO10	Córrego Pereira	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA
QO11	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA
QO12	Córrego Vargem Grande	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA
QO13	Córrego Passa Sete próximo à foz do Córrego Vargem Grande	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 23. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2012

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2012 na bacia do rio Suaçuí Grande - D04							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre
RD087	Rio Urupuca, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Itambacuri, São José da Safira	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocêncio	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 24. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2012

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2012 na bacia do rio Caratinga - D05							
Estação	Curso d'água	Município	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD033	Rio Doce a jusante da cachoeira escura	Belo Oriente, Bugre	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD091	Córrego do Pião, próximo às nascentes do Rio Caratinga	Santa Bárbara do Leste	Manganês	MÉDIA	ALTA	ALTA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

5.2.2. Contaminação por Tóxicos para 2013 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) são apresentados nas tabelas Tabela 25 aTabela 30 para o ano de 2013 nas sub-bacias do rio Doce.

As concentrações de metais em água para o ano de 2013, de forma geral indicam contaminação alta para Manganês, Ferro e Alumínio.

Tabela 25. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do rio Piranga - D01							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD001	Rio Piranga na cidade de Piranga	Piranga	Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD007	Rio Piranga na cidade de Porto Firme	Porto Firme	Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Arsênio	MÉDIA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
			Manganês	ALTA	-	ALTA	-
RD018	Rio Casca	Rio Casca e São Pedro dos Ferros	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD019	Rio Doce	Rio Casa e São Domingos do Prata	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo D'água	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD068	Rio Piranga	Ressaquinha	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD070	Rio Turvo	Guaraciaba	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa	Alumínio	BAIXA	ALTA	<	<
			Arsênio	MÉDIA	ALTA	<	BAIXA
			Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD072	Rio Doce	Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado	Arsênio	MÉDIA	ALTA	<	BAIXA
			Manganês	MÉDIA	ALTA	<	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Piracicaba (Tabela 26), Manganês, Alumínio e Ferro foram os principais elementos com concentrações que indicam contaminação alta. Nessa sub-bacia notou-se a contaminação alta para o Chumbo na estação RD030 em Nova Era. A estação RD030 apresentou contaminação, também, para o Alumínio e Manganês.

Tabela 26. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do rio Piracicaba - D02							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD025	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD026	Rio Piracicaba à jusante da cidade de João Monlevade	João Monlevade	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA
RD027	Rio Santa Bárbara na localidade de Santa Rita das Pacas	São Gonçalo do Rio Abaixo	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
RD029	Rio Piracicaba	Nova Era	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA
RD030	Rio do Peixe próximo de sua foz no Rio Piracicaba	Nova Era	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Chumbo	ALTA	-	<	-
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD074	Rio Piracicaba	Mariana	Manganês	MÉDIA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
RD076	Rio da Prata, próximo à sua foz no rio Piracicaba	Nova Era	Alumínio	ALTA	MÉDIA	<	MÉDIA
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Santo Antônio (Tabela 27) em 2013, as concentrações para as estações que são monitoradas pela Mineradora Anglo American Minério de Ferro Brasil S/A, estações QO01 a QO12, que se localizam a jusante dessa mineradora indicam contaminação alta para Manganês em quase todas as estações para todos os três períodos analisados. Há, também, contaminação alta para Alumínio e Ferro.

Tabela 27. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do rio Santo Antônio - D03							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
QO01	Córrego Passa-Sete	Alvorada de Minas	Manganês	-	MÉDIA	ALTA	ALTA
QO02	Córrego Água Santa	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	ALTA	ALTA
QO03	Córrego Água Santa	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	ALTA	ALTA
QO04	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	ALTA	ALTA
QO05	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas	Manganês	-	ALTA	BAIXA	BAIXA
QO06	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Ferro	-	BAIXA	ALTA	BAIXA
QO09	Córrego Pereira/ponte da MG-010	Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	ALTA	ALTA
QO10	Córrego Pereira	Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	ALTA	BAIXA
QO12	Córrego Vargem Grande	Conceição do Mato Dentro	Manganês	-	ALTA	BAIXA	ALTA
RD077	Rio Santo Antônio	Conceição do Mato Dentro	Alumínio	MÉDIA	ALTA	<	<

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

As sub-bacias dos rios Suaçuí Grande e Caratinga (Tabela 28 e Tabela 29) em 2013, possuem concentrações que indicam contaminação alta para Manganês, Alumínio e Ferro. Principalmente no primeiro trimestre do ano.

Tabela 28. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do rio Suaçuí Grande - D04							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD045	Rio Doce	Governador Valadares	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD049	Rio Suaçuí Grande em Mathias Lobato	Frei Inocêncio	Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD085	Rio Suaçuí Grande	Coluna, João Evangelista	Alumínio	MÉDIA	ALTA	<	<
RD087	Rio Urupuca, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Itambacuri, São José da Safira	Alumínio	ALTA	<	<	<
			Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocêncio	Alumínio	ALTA	<	<	<
			Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD089	Rio Suaçuí Grande	Governador Valadares	Alumínio	ALTA	<	<	<
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD094	Rio do Eme, próximo a sua foz no rio Doce	Resplendor	Alumínio	ALTA	<	<	MÉDIA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 29. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do rio Caratinga - D05							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD033	Rio Doce a jusante da cachoeira escura	Belo Oriente, Bugre	Manganês	ALTA	MÉDIA	-	BAIXA
RD056	Rio Caratinga	Caratinga	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Ferro	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	ALTA	-	MÉDIA	-
RD090	Ribeirão Traíras	Alpercata, Tumiritinga	Alumínio	ALTA	<	<	<
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	ALTA
			Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
RD091	Córrego do Pião	Santa Bárbara do Leste	Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
RD092	Rio Preto	Inhapim	Alumínio	ALTA	<	<	<
RD093	Rio Caratinga	Tarumirim	Alumínio	ALTA	ALTA	<	<
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A sub-bacia do rio Manhuaçu (Tabela 30) em 2013, para o primeiro trimestre do ano resultou em concentrações que indicam contaminação Alta para Alumínio em estações mais ao leste da bacia em direção ao Espírito Santo.

Tabela 30. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2013

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2013 na bacia do Rio Manhuaçu - D06							
Estação	Curso d'água	Município	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD059	Rio Doce a jusante de Resplendor	Resplendor	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD065	Rio Manhuaçu próximo a sua foz no Rio Doce	Aimorés	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD067	Rio Doce em Baixo Guandu - ES	Aimorés (MG), Baixo Guandu (ES)	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD095	Rio Manhuaçu	Manhuaçu	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

5.2.3. Contaminação por Tóxicos para 2014 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) são apresentados nas tabelas Tabela 31 Tabela 366 para o ano de 2014 nas sub-bacias do rio Doce.

Na sub-bacia do rio Piranga (Tabela 31), em 2014, no primeiro trimestre houve indicação de contaminação alta para Ferro e Manganês. O mesmo foi observado na sub-bacia Caratinga (Tabela 35), além de indicação de contaminação alta para Alumínio para resultados na estação RD033.

Tabela 31. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do Rio Piranga - D01							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD001	Rio Piranga na cidade de Piranga	Piranga	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD004	Rio Xopotó próximo a sua foz no rio Piranga	Presidente Bernardes	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Manganês	ALTA	-	ALTA	-
RD069	Rio Piranga, no distrito de Piranguita	Rio Espera e Santana dos Montes	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	ALTA
RD071	Rio do Carmo, próximo à sua confluência com o rio Piranga	Barra Longa	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

Na sub-bacia do rio Piracicaba (Tabela 32), o segundo trimestre se destacou com indicação de contaminação alta para Manganês para a maioria das estações na calha do rio Piracicaba. E contaminação alta para Chumbo foi identificada na estação RD029 em Nova Era.

Tabela 32. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do rio Piracicaba - D02							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD025	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD026	Rio Piracicaba	João Monlevade	Manganês	BAIXA	MÉDIA	BAIXA	ALTA
RD029	Rio Piracicaba	Nova Era	Chumbo	<	ALTA	<	<
			Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD075	Rio Piracicaba, no distrito de Fonseca	Alvinópolis	Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD076	Rio da Prata	Nova Era	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Ferro	MÉDIA	MÉDIA	ALTA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: < valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Santo Antônio (Tabela 33) chama atenção contaminação alta de Manganês e Ferro para as estações monitoradas a jusante da Mineradora Anglo American, estações QO01 a QO12. Concentrações de Alumínio também indicam contaminação alta nessa sub-bacia.

Tabela 33. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do rio Santo Antônio - D03							
Estação	Curso d'água	Município	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
QO01	Córrego Passa-Sete	Alvorada de Minas	Manganês	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	ALTA
QO04	Córrego Passa Sete	Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro	Manganês	MÉDIA	ALTA	ALTA	ALTA
QO08	Afluente do Córrego Pereira	Conceição do Mato Dentro	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
QO09	Córrego Pereira/ponte da MG-010	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	MÉDIA
QO10	Córrego Pereira	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	ALTA	BAIXA	BAIXA
QO12	Córrego Vargem Grande	Conceição do Mato Dentro	Manganês	ALTA	-	-	-
RD081	Rio Santo Antônio	Ferros	Alumínio	ALTA	<	ALTA	<
RD082	Rio Guanhães	Dores de Guanhães	Alumínio	MÉDIA	<	ALTA	<
			Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Suaçuí Grande (Tabela 34), além de indicação de contaminação alta para Manganês, houve indicação de contaminação alta para as concentrações de Mercúrio na estação RD089 o rio Suaçuí Grande em Governador Valadares.

Tabela 34. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do Suaçuí Grande - D04							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD049	Rio Suaçuí Grande em Mathias Lobato	Frei Inocêncio	Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD087	Rio Urupuca, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Itambacuri, São José da Safira	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocêncio	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA	ALTA
RD089	Rio Suaçuí Grande	Governador Valadares	Mercurio	ALTA	-	<	-

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 35. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do rio Caratinga - D05							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD033	Rio Doce a jusante da cachoeira escura	Belo Oriente, Bugre	Alumínio	-	-	ALTA	-
RD056	Rio Caratinga	Caratinga	Ferro	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	ALTA	-	MÉDIA	-
RD091	Córrego do Pião	Santa Bárbara do Leste	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

Tabela 36. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2014

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2014 na bacia do Rio Manhuaçu - D06							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD095	Rio Manhuaçu	Manhuaçu	Ferro	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

5.2.4. Contaminação por Tóxicos para 2015 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) são apresentados nas tabelas Tabela 37 Tabela 42 para o ano de 2015 nas sub-bacias do rio Doce. Os dados são de amostras que ocorreram nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2015. São registros de concentrações de metais em água para o período antes do acidente na barragem de Fundão em Mariana.

A sub-bacia do rio Piranga (Tabela 37), com indicação de contaminação alta para Ferro, Manganês, Alumínio e Arsênio.

As demais sub-bacias dos rios Piracicaba, Caratinga, Santo Antônio, Suaçuí Grande e Manhuaçu (Tabelas Tabela 38 Tabela 42), também seguem o verificado para os anos anteriores, com indicação de contaminação alta para Manganês e Ferro.

Tabela 37. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do rio Piranga - D01							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD001	Rio Piranga na cidade de Piranga	Piranga	Ferro	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD004	Rio Xopotó próximo a sua foz no rio Piranga	Presidente Bernardes	Ferro	MÉDIA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD007	Rio Piranga na cidade de Porto Firme	Porto Firme	Ferro	MÉDIA	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Arsênio	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	ALTA	-	ALTA	-
RD019	Rio Doce	Rio Casa e São Domingos do Prata	Alumínio	ALTA	-	-	-
RD021	Rio Matipó	Raul Soares	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo D'água	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD069	Rio Piranga, no distrito de Piranguita	Rio Espera e Santana dos Montes	Ferro	ALTA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa	Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 38. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do rio Piracicaba - D02							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD074	Rio Piracicaba	Mariana	Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Ferro	ALTA	ALTA	ALTA	MÉDIA
			Manganês	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 39. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do rio Santo Antônio - D03							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD079	Rio do Peixe, a montante de sua foz no rio Santo Antônio	Carmésia	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 40. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do rio Suaçuí Grande - D04							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD085	Rio Suaçuí Grande	Coluna, João Evangelista	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
RD087	Rio Urupuca, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Itambacuri, São José da Safira	Manganês	BAIXA	BAIXA	BAIXA	ALTA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocêncio	Manganês	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
RD094	Rio do Eme, próximo a sua foz no rio Doce	Resplendor	Ferro	MÉDIA	BAIXA	BAIXA	ALTA
			Manganês	MÉDIA	BAIXA	BAIXA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 41. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do rio Caratinga - D05							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD056	Rio Caratinga	Caratinga	Ferro	ALTA	BAIXA	ALTA	ALTA
			Manganês	ALTA	-	MÉDIA	-
RD090	Ribeirão Traíras	Alpercata, Tumiritinga	Manganês	ALTA	BAIXA	MÉDIA	-
RD091	Córrego do Pião	Santa Bárbara do Leste	Ferro	BAIXA	BAIXA	ALTA	BAIXA
			Manganês	ALTA	MÉDIA	ALTA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 42. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2015

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2015 na bacia do Rio Manhuaçu - D06							
Estação	Curso d'água	Município	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD095	Rio Manhuaçu	Manhuaçu	Ferro	ALTA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	BAIXA	BAIXA	BAIXA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

5.2.5. Contaminação por Tóxicos para 2016 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) são apresentados nas tabelas Tabela 43 Tabela 48 para o ano de 2016 nas sub-bacias do rio Doce.

As sub-bacias do rio Doce na parte mineira, apresentaram indicação de contaminação alta para Manganês, Ferro e Alumínio, assim como registrado nos anos anteriores. Porém, elementos que antes apareciam com concentrações baixas, foram identificados com indicação de contaminação alta neste período. Houve indicação de contaminação alta para os elementos: Arsênio, Mercúrio, Cromo, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco.

Para o período de 2016, todas as estações da sub-bacia do rio Piranga (Tabela 43) registraram concentrações que indicaram contaminação alta para os seguintes elementos: Manganês, Ferro, Arsênio, Mercúrio, Cobre, Chumbo e Zinco.

Quanto a análise usando o indicador de Contaminação por Tóxico, a sub-bacia do rio Piranga foi considerada uma das mais crítica, isto é, a que apresentou mais estações e

elementos com concentrações, que excedam em mais de 100% os limites definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008. O que é lógico de se esperar após a onda de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão.

Tabela 43. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do rio Piranga - D01							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD001	Rio Piranga na cidade de Piranga	Piranga	Ferro	MÉDIA	ALTA	MÉDIA	ALTA
RD004	Rio Xopotó próximo a sua foz no rio Piranga	Presidente Bernardes	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA	BAIXA
RD007	Rio Piranga na cidade de Porto Firme	Porto Firme	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Arsênio	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	ALTA	-	ALTA	BAIXA
RD011	Rio Gualaxo do Norte próximo de sua foz no rio do Carmo	Barra Longa	Manganês	-	-	ALTA	ALTA
RD019	Rio Doce	Rio Casa e São Domingos do Prata	Manganês	ALTA	ALTA	MÉDIA	ALTA
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo D'água	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
			Mercurio	ALTA	-	-	-
RD068	Rio Piranga	Ressaquinha	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD069	Rio Piranga, no distrito de Piranguita	Rio Espera e Santana dos Montes	Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA
			Cobre	ALTA	<	<	<
RD070	Rio Turvo	Guaraciaba	Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA	MÉDIA
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
			Zinco	BAIXA	BAIXA	BAIXA	ALTA
RD072	Rio Doce	Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado	Chumbo	ALTA	<	<	BAIXA
			Manganês	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A sub-bacia do rio Piracicaba (Tabela 44), em 2016 além de Manganês e Ferro, chamou atenção para a frequência de concentrações de Alumínio que indicam contaminação alta, principalmente para o primeiro trimestre do ano.

Tabela 44. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do Rio Piracicaba - D02							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD025	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD026	Rio Piracicaba à jusante da cidade de João Monlevade	João Monlevade	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD027	Rio Santa Bárbara na localidade de Santa Rita das Pacas	São Gonçalo do Rio Abaixo	Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD029	Rio Piracicaba	Nova Era	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD032	Rio Piracicaba	Antônio Dias	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD035	Rio Doce a jusante de Ipatinga	Ipatinga	Manganês	ALTA	-	ALTA	ALTA
RD074	Rio Piracicaba	Mariana	Manganês	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Manganês	MÉDIA	ALTA	ALTA	ALTA
			Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Concentrações de Alumínio, Ferro, Chumbo e Manganês indicam contaminação alta para estações nas sub-bacias dos rios Santo Antônio (Tabela 45) e Caratinga (Tabela 47).

Tabela 45. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do rio Santo Antônio - D03							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD077	Rio Santo Antônio	Conceição do Mato Dentro	Alumínio	ALTA	<	<	<
RD078	Rio Preto do Itambé	São Sebastião do Rio Preto	Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA	ALTA
RD079	Rio do Peixe	Carmésia	Chumbo	<	ALTA	<	<
			Ferro	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD082	Rio Guanhões, a montante de sua foz no rio Santo Antônio	Dores de Guanhões	Alumínio	ALTA	<	<	<
			Ferro	ALTA	MÉDIA	BAIXA	BAIXA
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A sub-bacia do rio Suaçuí Grande (Tabela 46), semelhante ao observado na sub-bacia do rio Piranga, apresentou altas concentrações que indicaram contaminação alta para os seguintes elementos: Manganês, Alumínio, Ferro, Chumbo, Cromo e Mercúrio.

Tabela 46. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do rio Suaçuí Grande - D04							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD040	Rio Corrente Grande	Governador Valadares, Periquito	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD044	Rio Doce na cidade de Governador Valadares	Governador Valadares	Chumbo	ALTA	-	<	<
			Cromo	ALTA	-	<	<
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	MÉDIA
			Mercúrio	ALTA	-	<	<
RD045	Rio Doce	Governador Valadares	Chumbo	ALTA	-	<	<
			Cromo	ALTA	-	<	<
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
			Mercúrio	ALTA	-	<	<
RD049	Rio Suaçuí Grande em Mathias Lobato	Frei Inocêncio	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Chumbo	ALTA	-	<	-
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD053	Rio Doce a jusante do rio Suaçuí Grande	Galileia, Tumiritinga	Alumínio	ALTA	-	<	<
			Chumbo	ALTA	-	<	<
			Cromo	ALTA	-	<	<
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	ALTA
RD083	Rio Doce, após a foz do rio Santo Antônio	Fernandes Tourinho, Periquito	Chumbo	ALTA	-	<	<
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA	ALTA
RD084	Rio Suaçuí Pequeno	Governador Valadares	Alumínio	ALTA	<	<	<
RD085	Rio Suaçuí Grande	Coluna, João Evangelista	Ferro	MÉDIA	ALTA	BAIXA	ALTA
RD087	Rio Urupuca	Itambacuri, São José da Safira	Manganês	-	ALTA	MÉDIA	ALTA
			Ferro	-	ALTA	ALTA	BAIXA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocêncio	Alumínio	ALTA	<	BAIXA	<
			Manganês	ALTA	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD089	Rio Suaçuí Grande	Governador Valadares	Alumínio	ALTA	<	<	<
RD094	Rio do Eme, próximo a sua foz no rio Doce	Resplendor	Alumínio	ALTA	<	<	-
			Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA	-

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado. < valor menor que o Limite de Detecção

Tabela 47. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do rio Caratinga - D05							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD033	Rio Doce a jusante da cachoeira escura	Belo Oriente, Bugre	Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA	ALTA
RD056	Rio Caratinga	Caratinga	Ferro	MÉDIA	MÉDIA	ALTA	ALTA
RD057	Rio Caratinga	Conselheiro Pena	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	-
RD058	Rio Doce	Conselheiro Pena	Chumbo	ALTA	<	<	BAIXA
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	ALTA
RD090	Ribeirão Traíras	Alpercata, Tumiritinga	Alumínio	ALTA	<	<	-
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	-
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	-
RD091	Córrego do Pião	Santa Bárbara do Leste	Ferro	MÉDIA	MÉDIA	ALTA	BAIXA
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A sub-bacia do rio Manhuaçu (Tabela 48) registrou concentrações que indicam contaminação alta para Ferro, Manganês, Alumínio, Chumbo e Mercúrio.

Tabela 48. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2016

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2016 na bacia do rio Manhuaçu - D06							
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
RD059	Rio Doce a jusante de Resplendor	Resplendor	Alumínio	ALTA	-	BAIXA	<
			Chumbo	ALTA	-	<	<
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	MÉDIA
			Mercúrio	ALTA	-	<	<
RD064	Rio Manhuaçu	Santana do Manhuaçu	Alumínio	ALTA	-	<	-
RD065	Rio Manhuaçu próximo a sua foz no Rio Doce	Aimorés	Alumínio	ALTA	-	<	-
			Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
RD067	Rio Doce em Baixo Guandu - ES	Aimorés (MG), Baixo Guandu (ES)	Ferro	ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
			Chumbo	ALTA	<	<	<
			Manganês	ALTA	-	BAIXA	BAIXA
RD095	Rio Manhuaçu	Manhuaçu	Ferro	MÉDIA	ALTA	MÉDIA	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado. < valor menor que o Limite de Detecção

5.2.6. Contaminação por Tóxicos para 2017 a 2018 na BHRD

Os resultados da classificação de Contaminação por Tóxicos (CT) para os dados de 2017 e 2018 são apresentados nas tabelas Tabela 49 e Tabela 54.

Na sub-bacia do rio Piranga (Tabela 49), as concentrações registradas indicam contaminação alta em todas as estações para os elementos: Manganês, Ferro, Alumínio, Cádmio, Zinco, Chumbo.

Concentrações que indicam contaminação alta de Cádmio só foram observadas ao longo desse período.

Tabela 49. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piranga em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Piranga - D01						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD001	Rio Piranga na cidade de Piranga	Piranga	Ferro	ALTA	ALTA	ALTA
RD004	Rio Xopotó próximo a sua foz no rio Piranga	Presidente Bernardes	Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA
RD007	Rio Piranga na cidade de Porto Firme	Porto Firme	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA
RD009	Rio do Carmo	Mariana	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
			Zinco	BAIXA	ALTA	-
RD011	Rio Gualaxo do Norte próximo de sua foz no rio do Carmo	Barra Longa	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
			Cádmio	<	<	ALTA
			Zinco	<	ALTA	BAIXA
RD013	Rio Piranga	Ponte Nova	Alumínio	<	ALTA	-
			Ferro	ALTA	ALTA	-
RD019	Rio Doce	Rio Casa e São Domingos do Prata	Manganês	MÉDIA	ALTA	ALTA
RD021	Rio Matipó	Raul Soares	Ferro	MÉDIA	ALTA	BAIXA
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo D'água	Manganês			
			Cádmio	<	<	ALTA
RD068	Rio Piranga	Ressaquinha	Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
RD069	Rio Piranga, no distrito de Piranguita	Rio Espera e Santana dos Montes	Alumínio	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	MÉDIA	MÉDIA	ALTA
RD070	Rio Turvo	Guaraciaba	Ferro	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
			Zinco	<	ALTA	BAIXA
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa	Alumínio	<	ALTA	BAIXA
			Cádmio	<	<	ALTA
			Chumbo	<	<	ALTA
			Ferro	BAIXA	ALTA	BAIXA
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
RD072	Rio Doce	Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado	Cádmio	<	<	ALTA
			Manganês	ALTA	ALTA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Piracicaba (Tabela 50), as concentrações indicam contaminação alta para Manganês, Ferro e Cádmio.

Tabela 50. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Piracicaba em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Piracicaba - D02						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD026	Rio Piracicaba à jusante da cidade de João Monlevade	João Monlevade	Ferro	BAIXA	ALTA	-
			Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA
RD027	Rio Santa Bárbara	São Gonçalo do Rio Abaixo	Ferro	ALTA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	BAIXA	ALTA	MÉDIA
RD030	Rio do Peixe	Nova Era	Manganês	ALTA	BAIXA	-
RD035	Rio Doce a jusante de Ipatinga	Ipatinga	Cádmio	<	<	ALTA
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
RD074	Rio Piracicaba	Mariana	Manganês	MÉDIA	MÉDIA	ALTA
RD099	Rio Maquiné	Catas Altas	Manganês	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
			Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Santo Antônio (Tabela 51), observou-se indicação de contaminação alta para os elementos Ferro e Alumínio para apenas três estações, no primeiro trimestre de 2018.

Tabela 51. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Santo Antônio em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Santo Antônio - D03						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD039	Rio Santo Antônio	Naque	Alumínio	BAIXA	ALTA	-
RD080	Rio do Tanque	Ferros	Ferro	MÉDIA	ALTA	MÉDIA
RD082	Rio Guanhães	Dores de Guanhães	Ferro	BAIXA	ALTA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

A sub-bacia do rio Suaçuí Grande (Tabela 52), assim como o período de 2016, teve comportamento crítico quando a indicação de contaminação Alta de elementos

registrados nas estações. Com indicação de contaminação alta para os elementos: Manganês, Alumínio, Ferro e Cádmio.

Tabela 52. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Suaçuí Grande em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Suaçuí Grande - D04						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD044	Rio Doce	Governador Valadares	Cádmio	<	<	ALTA
			Manganês	MÉDIA	ALTA	BAIXA
RD045	Rio Doce	Governador Valadares	Alumínio	<	ALTA	BAIXA
			Ferro	BAIXA	ALTA	MÉDIA
			Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA
RD053	Rio Doce a jusante do rio Suaçuí Grande	Galileia, Tumiritinga	Alumínio	MÉDIA	ALTA	MÉDIA
			Cádmio	<	<	ALTA
			Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA
			Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA
RD083	Rio Doce, após a foz do rio Santo Antônio	Fernandes Tourinho, Periquito	Cádmio	<	<	ALTA
			Manganês	ALTA	ALTA	BAIXA
RD084	Rio Suaçuí Pequeno	Governador Valadares	Ferro	ALTA	ALTA	BAIXA
RD085	Rio Suaçuí Grande	Coluna, João Evangelista	Ferro	ALTA	ALTA	BAIXA
RD086	Rio Suaçuí Grande	Santa Maria do Suaçuí, Virgolândia	Alumínio	ALTA	BAIXA	-
RD087	Rio Urupuca	Itambacuri, São José da Safira	Alumínio	ALTA	BAIXA	ALTA
			Ferro	ALTA	ALTA	ALTA
RD088	Rio Itambacuri, próximo a sua foz no rio Suaçuí Grande	Frei Inocência	Alumínio	ALTA	BAIXA	BAIXA
			Ferro	ALTA	BAIXA	MÉDIA
RD089	Rio Suaçuí Grande	Governador Valadares	Ferro	BAIXA	MÉDIA	ALTA
			Manganês	ALTA	BAIXA	BAIXA
RD094	Rio do Eme	Resplendor	Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A sub-bacia do rio Caratinga (Tabela 53) chamou atenção para os elementos: Manganês, Chumbo, Ferro, Cádmio, Alumínio e Mercúrio, que apresentaram concentrações que indicam contaminação alta.

Tabela 53. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Caratinga em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Caratinga - D05						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD033	Rio Doce	Belo Oriente, Bugre	Cádmio	<	<	ALTA
			Chumbo	BAIXA	BAIXA	ALTA
			Manganês	ALTA	ALTA	MÉDIA
RD056	Rio Caratinga	Caratinga	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA
			Manganês	ALTA	ALTA	-
RD057	Rio Caratinga	Conselheiro Pena	Ferro	MÉDIA	BAIXA	ALTA
RD058	Rio Doce	Conselheiro Pena	Alumínio	<	ALTA	BAIXA
			Cádmio	<	<	ALTA
			Chumbo	<	MÉDIA	ALTA
			Ferro	BAIXA	ALTA	MÉDIA
			Manganês	BAIXA	ALTA	ALTA
RD090	Ribeirão Traíras	Alpercata, Tumiritinga	Mercúrio	ALTA	<	-
			Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA
			Manganês	ALTA	MÉDIA	BAIXA
RD091	Córrego do Pião	Santa Bárbara do Leste	Cádmio	<	<	ALTA
			Ferro	MÉDIA	ALTA	ALTA
			Manganês	ALTA	ALTA	ALTA
RD092	Rio Preto	Inhapim	Cádmio	<	<	ALTA
			Ferro	ALTA	ALTA	ALTA
RD093	Rio Caratinga	Tarumirim	Cádmio	<	<	ALTA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

Na sub-bacia do rio Manhuaçu (Tabela 54) observou-se indicação de contaminação alta para os elementos: Manganês, Chumbo, Ferro, Cádmio e Alumínio. A maioria dos casos foram registrados no primeiro trimestre de 2018.

Tabela 54. Contaminação por Tóxico na bacia do rio Manhuaçu em 2017 e 2018

CT Alta em pelo menos 1 campanha de 2017 e 2018 na bacia do rio Manhuaçu - D06						
Estação	Curso d'água	Município (MG)	Parâmetros CT Alta	1º Trimestre 2017	1º Trimestre 2018	2º Trimestre 2018
RD059	Rio Doce a jusante de Resplendor	Resplendor	Alumínio	<	ALTA	BAIXA
			Cádmio	<	<	ALTA
			Chumbo	<	BAIXA	ALTA
			Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA
			Ferro	BAIXA	ALTA	MÉDIA
RD064	Rio Manhuaçu	Santana do Manhuaçu	Ferro	ALTA	ALTA	MÉDIA
RD065	Rio Manhuaçu	Aimorés	Alumínio	MÉDIA	ALTA	-
			Ferro	BAIXA	ALTA	MÉDIA
RD067	Rio Doce em Baixo Guandu - ES	Aimorés (MG), Baixo Guandu (ES)	Alumínio	MÉDIA	ALTA	BAIXA
			Cádmio	<	BAIXA	ALTA
			Chumbo	<	MÉDIA	ALTA
			Manganês	BAIXA	ALTA	BAIXA
RD096	Rio São Mateus	Manhuaçu, Simonésia	Ferro	ALTA	MÉDIA	MÉDIA

Fonte: Elaboração Própria

Legenda: - sem resultado

< valor menor que o Limite de Detecção

A discussão, a que se destina essa parte do capítulo, será realizada para cada sub-bacia e para dois períodos: antes e após o acidente com a barragem da Samarco.

5.2.7. Sub-bacia do Rio Piranga (D01)

A tabela 55 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Piranga.

Tabela 55. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Piranga

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO PIRANGA D01	RD001	Rio Piranga	-	Mn	Fe	Fe	Fe	Fe
	RD004	Rio Xopotó	-	-	Fe	Fe	Fe	Fe
	RD007	Rio Piranga	Mn	Mn	-	Fe	Fe	Fe
	RD009	Rio do Carmo	As, Mn	As, Mn	Mn	As, Mn	As, Mn	Mn, Zn
	RD011	Rio Gualaxo do Norte	-	-	-	-	Mn	Mn, Cd, Zn
	RD013	Rio Piranga	Mn	-	-	-	-	Al, Fe
	RD018	Rio Casca	Mn	Mn	-	-	-	-
	RD019	Rio Doce	Mn	Mn	-	Al	Mn	Mn
	RD021	Rio Matipó	-	-	-	Fe	-	Fe
	RD023	Rio Doce	Mn	Mn	-	Al	Mn, Hg	Mn, Cd
	RD068	Rio Piranga	Mn	Mn	-	-	Mn	Mn
	RD069	Rio Piranga	-	-	Fe	Fe	Fe, Cu	Al, Fe
	RD070	Rio Turvo	Mn	Mn	-	-	Fe	Fe, Zn
	RD071	Rio do Carmo	As, Mn	Al, As, Mn	Mn	Mn	Mn, Zn	Al, Cd, Pb, Fe, Mn
	RD072	Rio Doce	Mn	As, Mn	-	-	Mn, Pb	Mn, Cd

Fonte: Elaboração própria

Os metais que mais se destacam, como contaminantes nas águas, são o Manganês (Mn) e o Ferro (Fe) (Tabela 55).

Parte do Quadrilátero Ferrífero se localizada nessa sub-bacia, com as cidades de Mariana, Bento Rodrigues e Ouro Preto. Essa região abriga um enorme complexo de mineração.

As concentrações altas desses elementos foram mais frequentes no primeiro trimestre de cada ano, nos meses de janeiro e fevereiro. Esse período corresponde a estação chuvosa. O que indica que o índice pluviométrico tem influência nas análises de contaminação por metais em água, uma vez que, períodos de intensas chuvas colocam em suspensão os sedimentos de fundo dos cursos d'água.

Alguns autores como Fracácio (2001) e Berninger (2001) observaram relação direta entre maior índice pluviométrico e maior concentração de metais.

A estação de monitoramento RD009 localizada em Mariana, no rio do Carmo. De acordo com o cálculo do indicador de Contaminação por Tóxico, esta estação se manteve ao longo dos anos com valores de concentração de Arsênio e Manganês que ultrapassam mais de 100% os limites estabelecidos para classe 2 da COPAM/CERH nº 01/2008.

O rio do Carmo é um dos formadores do rio Doce. Esse rio nasce na serra do Espinhaço, em Ouro Preto e passa a se chamar rio do Carmo em Mariana (IBGE, 2019).

As grandes minerações de Ferro-Manganês do Quadrilátero Ferrífero, principalmente as minas pertencentes à Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), iniciaram a exploração extensiva de suas jazidas a partir da década de 80 (COSTA, 2001).

A Companhia Vale do Rio Doce é responsável por todas as minas de ferro-manganês em Mariana, identificadas no CTF/APP (IBAMA, 2018).

O rio do Carmo recebe efluentes das principais atividades de mineração localizada em Ouro Preto e Mariana no Quadrilátero Ferrífero. O que explica altas concentrações de Manganês na água na estação de monitoramento RD009.

As associações minerais presentes nos depósitos explorados, tanto do ouro como do ferro, são ricas em metais traço (As, Ba, Sb, Hg, Ni, Pb, Cu e Co), os quais apresentam alto potencial tóxico (COSTA, 2001).

Cabe destacar que de acordo com o informado ao IBAMA (2018) todos os empreendimentos cadastrados como extração de minérios, possuem estação de tratamento, onde os efluentes que serão descartados nos corpos hídricos, são devidamente tratados antes disto acontecer.

A contaminação de Arsênio na estação RD009 em Mariana está associada a extração de ouro, que durante décadas foi muito intensa nessa região. Atualmente é intensa a presença de garimpos ilegais na região de Mariana, assim como ao longo do Quadrilátero Ferrífero.

De acordo com Guimarães (1942), o rio do Carmo consta na lista dos principais rios auríferos em Minas Gerais, outros rios presentes nessa lista são: rio Piracicaba, rio Gualaxo, rio das Velhas, rio Paraopeba, rio Maranhão, rio Santa Bárbara e rio São João.

A contaminação por Arsênio em sedimentos e em água está associada ao processo de Drenagem Ácida da Mina, que ocorre de forma espontânea, resultado do intemperismo dos sulfetos quando expostos a condição de maior oxidação e drenagem (ROESER E ROESER, 2010).

Adicionalmente, a CPRM (2015b) explica que valores elevados para Arsênio, Manganês e Ferro, são compatíveis com as características geológicas de áreas do Quadrilátero Ferrífero, como na região entre Ouro Preto e Mariana.

A estação de monitoramento RD071 localizada em Barra Longa, no rio do Carmo próximo à sua confluência com o rio Piranga. Além de contaminação alta por Manganês em água, os dados de concentrações no período de 2012 a 2015, indicaram contaminação alta para Arsênio e Alumínio.

Próxima a estação RD071 não foi identificada atividade industrial que justifique contaminação por Alumínio. Isso acontece porque, na presente pesquisa, só foram identificadas as atividades industriais dos municípios mais populosos.

Na sub-bacia do rio Piranga, concentrações de Ferro e Manganês continuaram indicando contaminação em 2016, 2017 e 2018 (Tabela 55).

Porém, elementos que antes apareciam com concentrações baixas, nos anos anteriores, foram identificados com indicação de contaminação alta neste período. Na sub-bacia do rio Piranga, foram os elementos: Arsênio, Mercúrio, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco.

As estações RD001 no rio Piranga, RD004 no rio Xopotó e RD007 no rio Piranga, como nos anos anteriores, indicam contaminação alta para Ferro, que é explicada pela característica natural da região, intensa atividade de mineração de Ferro. Esses rios não foram impactados diretamente pela onda de rejeitos da barragem de Fundão.

A lama de rejeitos, após rompimento da barragem de Fundão, impactou diretamente o rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e todo rio Doce até sua foz no Espírito Santo (IBAMA, 2015).

De acordo com os dados do IGAM (2018), em 2016, no ano seguinte após ao desastre com a barragem em Mariana, concentrações anormais de Mercúrio, Cobre, Chumbo e Zinco foram observadas. Em estações no rio Doce, rio Piranga, rio do Carmo.

A estação RD071 no rio do Carmo em 2016 indicou contaminação alta, além de Manganês, também por Zinco, e em 2017 contaminação alta para Manganês, e em 2018 contaminação alta para Cádmio, Chumbo, Ferro e Manganês. Essa estação está no município de Barra Longa (MG), a contaminação por esses elementos também pode estar associada a efluentes oriundos da cidade, que pode ser de efluentes domésticos e efluentes do uso de insumos na agricultura.

A estação RD072 localizada no rio Doce, está localizada a aproximadamente 20,5 km a jusante da estação RD071. Na estação RD072 em 2016 concentrações de Chumbo,

além de Manganês, indicaram contaminação alta, e em 2018 os elementos que indicaram contaminação alta foram: Alumínio, Cádmio, Chumbo, Ferro e Manganês.

A estação RD072 está no rio Doce após sua formação, depois da confluência dos rios Piranga e do Carmo. Próximo ao rio Piranga, a montante da RD072, foram identificadas duas metalúrgicas: uma empresa que fabrica produtos laminados e uma que produz artigos de ferro.

Porém, mais próximo e a jusante dessas empresas está instalada a estação RD013, que, caso existisse uma possível contaminação por esses empreendimentos diretamente no corpo hídrico, isso seria verificado antes de chegar na RD072.

A estação RD011 no rio Gualaxo do Norte, foi instalada em caráter emergencial logo após o acidente com a barragem em Mariana. Por isso não há registros de medições anteriores ao acidente.

5.2.8. Sub-bacia do Rio Piracicaba (D02)

A tabela 57 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Piracicaba.

Tabela 56. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Piracicaba

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO PIRACICABA D02	RD025	Rio Piracicaba	Mn	Mn	Mn	-	Mn	-
	RD026	Rio Piracicaba	-	Mn	Mn	-	Al, Mn	Mn, Fe
	RD027	Rio Santa Bárbara	-	Mn	-	-	Mn	Mn, Fe
	RD029	Rio Piracicaba	Mn	Mn	Mn, Pb	-	Al	-
	RD030	Rio do Peixe	-	Al, Pb, Mn	-	-	-	Mn
	RD032	Rio Piracicaba	Mn	-	-	-	Al	-
	RD035	Rio Doce	Mn	-	-	-	Mn	Mn, Cd
	RD074	Rio Piracicaba	Mn	Mn	-	Mn	Mn	Mn
	RD075	Rio Piracicaba	Mn	-	Mn	-	-	-
	RD076	Rio da Prata	-	Al, Mn	Mn	-	-	-
	RD099	Rio Maquiné	Fe	Fe	Fe	Mn, Fe	Mn, Fe	Mn, Fe

Fonte: Elaboração própria

No período de 2012 a 2015, Manganês e Ferro foram os que indicaram contaminação na sub-bacia do rio Piracicaba.

Parte da sub-bacia do rio Piracicaba está localizada no Quadrilátero Ferrífero, com intensa atividade de extração de minérios e metalúrgicas, principalmente nas cidades de Itabira e Mariana.

Na parte central da bacia do rio Doce, na região conhecida como Vale do Aço, nas cidades Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo se concentram as grandes indústrias metalúrgicas como a Usiminas e Aperam Inox. Nessa região da sub-bacia do rio Piracicaba também são identificadas algumas indústrias do setor químico e de plásticos.

A RD030, no rio do Peixe, está aproximadamente 23 km a jusante de Itabira, e tem influência dos efluentes gerados na intensa atividade de mineração que compõe a região.

A RD030 indicou contaminação alta para Alumínio, Chumbo e Manganês em 2013. O empreendimento mais próximo dessa estação realiza atividade de extração de pedras preciosas, como esmeraldas na Belmont Mineração LTDA, que está a 13 km a montante da estação RD030.

A estação RD029, no rio Piracicaba, indicou contaminação alta para Chumbo em 2014 e alta para Alumínio em 2016. Como essa estação está localizada na parte do rio dentro da cidade de Nova Era, com centro urbano a montante da estação, essa contaminação por Chumbo e Alumínio por ser oriunda de efluentes da cidade.

A RD026 no rio Piracicaba é localizada a jusante (a 400 metros de distância) da metalúrgica ArcelorMittal Brasil S/A no Centro Industrial de João Monlevade. Os dados de concentrações de metais em água nessa estação, no período de 2016 a 2018, indicaram contaminação alta para Alumínio, além de Ferro e Manganês.

E de acordo com o IBAMA (2018) o efluente gerado é tratado em nível primário e liberado no rio Piracicaba. Porém, uma provável contaminação pode ocorrer, se o efluente desse tipo de empresa não for devidamente tratado.

A estação RD035 indicou contaminação alta para Cádmiu em 2018. Essa estação está localizada em Ipatinga, no rio Doce, a jusante do centro industrial da cidade. Aproximadamente 4km a jusante da Usiminas.

Houve contaminação por Cádmiu em 2018 também na RD033 a jusante da RD035 (sub-bacia do rio Caratinga).

Contaminação por Cádmiu pode ser oriunda de efluente industrial e/ou doméstico liberado de forma irregular ao longo do rio Doce, na cidade de Ipatinga a montante da RD033 e RD035.

5.2.9. Sub-bacia do Rio Santo Antônio (D03)

A tabela 58 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Santo Antônio.

Tabela 57. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Santo Antônio

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO SANTO ANTÔNIO D03	QO01	Córrego Passa-Sete	Mn	Mn	Mn	-	-	-
	QO02	Córrego Água Santa	Mn, Fe	Mn	-	-	-	-
	QO03	Córrego Água Santa	Mn	Mn	-	-	-	-
	QO04	Córrego Passa Sete	Mn	Mn	Mn	-	-	-
	QO05	Córrego Passa Sete	Mn	Mn	-	-	-	-
	QO06	Córrego Passa Sete	Mn	Fe	-	-	-	-
	QO08	Afluente do Córrego Pereira	Mn, Fe	-	Mn, Fe	-	-	-
	QO09	Córrego Pereira	Mn	Mn	Mn	-	-	-
	QO10	Córrego Pereira	Mn	Mn	Mn, Fe	-	-	-
	QO11	Córrego Passa Sete	Mn	-	-	-	-	-
	QO12	Córrego Vargem Grande	Mn, Fe	Mn	Mn	-	-	-
	QO13	Córrego Passa Sete	Mn, Fe	-	-	-	-	-
	RD039	Rio Santo Antônio	-	-	-	-	-	Al
	RD077	Rio Santo Antônio	-	Al	-	-	Al	-
	RD078	Rio Preto do Itambé	-	-	-	-	Fe	-
	RD079	Rio do Peixe	-	-	-	Fe	Fe, Pb	-
	RD080	Rio do Tanque	-	-	-	-	-	Fe
RD081	Rio Santo Antônio	-	-	Al	-	-	-	
RD082	Rio Guanhães	-	-	Fe, Al	-	Al, Fe, Mn	Fe	

Fonte: Elaboração própria

As estações identificadas de QO01 a QO13 (tabela 58) são monitoradas pela mineradora Anglo American Minério de Ferro Brasil S/A, no município de Conceição do Mato Dentro (MG) e Alvorada de Minas (MG). São estações que fazem parte do projeto Anglo American, e que o IGAM divulgava seus resultados até 2014. A partir desse período não há registros por parte do IGAM.

As estações QO01 a QO13 no período de 2012 a 2014 indicaram contaminação alta para Manganês e Ferro, que pode estar associado ao efluente gerado na mineradora Anglo American Minério de Ferro Brasil S/A, uma vez que esses pontos estão localizados a jusante da barragem dessa empresa.

Para o período analisado, nessa sub-bacia, também foi observado casos de contaminação alta para Alumínio e Chumbo, além de Ferro e Manganês (Tabela 58).

No entanto, não foram identificadas indústrias próximas a essas outras estações que tenha relação direta com esse tipo de contaminação.

5.2.10. Sub-bacia do Rio Suaçuí Grande (D04)

A tabela 59 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Suaçuí Grande.

Tabela 58. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Suaçuí Grande

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO SUAÇUÍ GRANDE D04	RD040	Rio Corrente Grande	-	-	-	-	Al	-
	RD044	Rio Doce	-	-	-	-	Pb, Cr, Mn, Hg	Mn, Cd
	RD045	Rio Doce	-	Al	-	-	Pb, Cr, Mn, Hg	Al, Fe, Mn
	RD049	Rio Suaçuí Grande	-	Mn	Mn	-	Al, Pb, Mn	-
	RD053	Rio Doce	-	-	-	-	Al, Pb, Cr, Fe, Mn	Al, Cd, Fe, Mn
	RD083	Rio Doce	-	-	-	-	Mn, Pb	Cd, Mn
	RD084	Rio Suaçuí Pequeno	-	-	-	-	Al	Fe
	RD085	Rio Suaçuí Grande	-	Al	-	Fe	Fe	Fe
	RD086	Rio Suaçuí Grande	-	-	-	-	-	Al
	RD087	Rio Urupuca	Mn, Fe	Al, Mn, Fe	Mn	Mn	Mn, Fe	Al, Fe
	RD088	Rio Itambacuri	Mn, Fe	Al, Mn, Fe	Mn	Mn	Al, Mn, Fe	Al, Fe
	RD089	Rio Suaçuí Grande	-	Al, Fe	Hg	-	Al	Mn, Fe
	RD094	Rio do Eme	-	Al, Fe	-	Mn, Fe	Al, Fe	Mn

Fonte: Elaboração própria

Nas estações da sub-bacia do rio Suaçuí Grande, os dados de concentrações de Ferro e Manganês indicaram contaminação alta para esses elementos.

No período de 2012 a 2015 outros metais que também chamam atenção, como Alumínio e Mercúrio.

As estações RD087 e RD088 apresentaram ao longo dos anos, além de Ferro e Manganês, contaminação alta também para Alumínio (Tabela 59).

No entanto, essas estações se localizam em áreas totalmente rurais, sem proximidade com nenhuma fonte potencialmente poluidora.

No período de 2016 a 2018, as estações localizadas na calha do rio Doce: RD044, RD045, RD053 e RD083, indicaram contaminação alta para outros elementos, além de Ferro e Manganês.

A estações RD044 e RD045, no rio Doce em Governador Valadares são localizadas na região conhecida como Vale do Aço, com presença de diversas indústrias.

A RD044 fica no centro da região, mais próximas as indústrias. No período de 2016, em ambas as estações foram verificadas contaminação alta de Cromo, Chumbo, Manganês e Mercúrio.

A montante das estações RD044 e RD045 foram identificadas indústrias do setor Químico (produção de cosméticos) e eletrônico (fabricação de pilhas e baterias).

Foi verificada a presença de duas indústrias de produção de pilhas e baterias em Governador Valadares (IBAMA, 2018). A Raiom, indústria de baterias, fica a montante (6 km) da estação RD044 no rio Doce, essa estação apresentou contaminação por chumbo em 2016. O chumbo é a principal matéria prima usado no processo de produção da Raiom.

Os efluentes industriais da Raiom são provenientes do setor de fabricação de placas, gerado em função do umedecimento dos cilindros da empastadeira, limpeza do piso e equipamentos.

Os efluentes sanitários gerados no empreendimento são produzidos pelo esgotamento sanitário do banheiro e refeitório (SEMAD, 2008).

De acordo com as informações contidas no Relatório de Controle Ambiental e no Plano de Controle Ambiental disponível pela SEMAD (2008), todo o efluente industrial gerado pela empresa Raiom, é direcionado para a ETE, composta por elevatória, tanques de reação e leito de secagem de lodo. O efluente é então lançado na rede pública municipal, após adequações aos padrões de lançamento.

Elementos como Cádmiio, Mercúrio, Cobre, Chumbo e Alumínio em altas concentrações, nos pontos do rio Doce, são excepcionais para o período após a passagem da lama de rejeitos da barragem de Fundão.

As estações RD053 e RD083 no rio Doce, estão localizadas a montante do polo industrial de Governador Valadares, na parte rural da sub-bacia, sem proximidade com indústrias. Concentrações de Alumínio, Chumbo, Cromo, Cádmio, Ferro e Manganês, que indicam contaminação alta nessas estações, são excepcionais para o período após a passagem da lama de rejeitos da barragem de Fundão.

Apesar de laudos e estudos informarem que a presença de determinados metais não está vinculada a lama de rejeito da barragem de Fundão, há de se considerar que a força do volume de rejeito lançado quando do rompimento da barragem provavelmente revolveu e colocou em suspensão os sedimentos de fundo dos cursos d'água afetados, que pelo histórico e relatos na literatura já continham metais pesados (IBAMA, 2015).

5.2.11. Sub-bacia do Rio Caratinga (D05)

A tabela 60 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Caratinga.

Tabela 59. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Caratinga

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO CARATINGA D05	RD033	Rio Doce	Mn	Mn	Al	-	Mn	Cd, Pb, Mn
	RD056	Rio Caratinga	Mn	Al, Fe, Mn	Mn, Fe	Mn, Fe	Fe	Mn, Fe
	RD057	Rio Caratinga	-	-	-	-	Al, Fe, Mn	Fe
	RD058	Rio Doce	-	-	-	-	Mn, Pb	Al, Cd, Pb, Fe, Mn
	RD090	Ribeirão Traíras	-	Al, Fe, Mn	-	Mn	Al, Fe, Mn	Hg, Fe, Mn
	RD091	Córrego do Pião	-	Mn, Fe	Mn	Mn, Fe	Mn, Fe	Cd, Fe, Mn
	RD092	Rio Preto	-	Al	-	-	-	Cd, Fe
	RD093	Rio Caratinga	-	Al, Mn	-	-	-	Cd

Fonte: Elaboração própria

No período de 2012 a 2015, as estações da sub-bacia do rio Caratinga indicaram contaminação alta para Ferro, Manganês e Alumínio (Tabela 60). E alguns metais como Cádmio, Chumbo e Mercúrio só indicaram contaminação alta no período de 2016 a 2018.

A estação RD033 no rio Doce, está aproximadamente 28,3 km a jusante do Centro industrial de Ipatinga. Em Ipatinga está localizada a RD035 (na sub-bacia do rio Piracicaba), para essas duas estações foi verificada em 2018 contaminação alta para Cádmio. Esse tipo de contaminação pode ser oriundo de efluente industrial e/ou doméstico liberado de forma irregular ao longo do rio Doce, após a cidade de Ipatinga.

A estação RD056, no rio Caratinga, cerca de 7 km a jusante do centro urbano de Caratinga, apresentou ao longo dos anos contaminação por Ferro, Manganês e Alumínio.

No cadastro do IBAMA (2018), os empreendimentos mais próximos, 10 km a montante dessa estação, são um abatedouro e uma empresa que produz café.

As estações RD090 e RD091 estão localizadas em região rural, sem proximidades com indústrias. Ao longo dos anos foi observada contaminação por Alumínio, Ferro, Manganês, Cádmiio e Mercúrio.

5.2.12. Sub-bacia do Rio Manhuaçu (D06)

A tabela 61 apresenta a relação dos elementos com indicação de contaminação alta por estação na sub-bacia do rio Manhuaçu.

Tabela 60. Relação dos elementos com Indicação de Contaminação Alta na sub-bacia do rio Manhuaçu

Sub-bacia	Estações	Curso d'água	Período Antes do Acidente				Período Após o Acidente	
			2012	2013	2014	2015	2016	2017/2018
RIO MANHUAÇU D06	RD059	Rio Doce	-	Al	-	-	Al, Pb, Mn, Hg	Al, Cd, Pb, Fe, Mn
	RD064	Rio Manhuaçu	-	-	-	-	Al	Fe
	RD065	Rio Manhuaçu	-	Al	-	-	Al, Fe	Al, Fe
	RD067	Rio Doce	-	-	-	-	Fe, Pb, Mn	Al, Cd, Pb, Mn
	RD095	Rio Manhuaçu	-	Fe	Fe	Mn, Fe	Fe	-
	RD096	Rio São Mateus	-	-	-	-	-	Fe

Fonte: Elaboração própria

No período de 2012 a 2015, as estações na sub-bacia do rio Manhuaçu indicaram contaminação alta para Alumínio, Ferro e Manganês.

A estação RD059 no rio Doce, fica a 3 km a jusante do centro urbano de Resplendor (MG), no ano de 2013 houve indicação de contaminação alta de Alumínio.

Próxima a estação RD059 não há nenhuma atividade industrial que justifique essa contaminação. Como essa estação encontra-se próxima e a jusante de centro urbano, essa contaminação é oriunda de descarte de efluente sanitário de forma irregular no corpo hídrico.

No período de 2016 a 2018 também foram verificadas altas concentrações de Ferro, Manganês, Alumínio, Chumbo, Mercúrio e Cádmiio (Tabela 61). Metais como Ferro fazem parte da composição da lama de rejeito da barragem de Fundão, e os demais metais foram revolvidos do fundo com o volume de lama.

Na estação RD065, em 2013, indicou contaminação alta para Alumínio. E nos períodos de 2016 a 2018, além de Alumínio, Ferro também teve contaminação alta. Concentrações altas de Ferro são justificadas pela composição da lama de rejeito da barragem de Fundão.

A estação RD065 é localizada no baixo curso rio Manhuaçu, em parte totalmente rural. Próximo à essa estação não há nenhuma fonte poluidora que justifique esses valores anormais de Alumínio.

A estação RD095 no alto curso do rio Manhuaçu, é localizada cerca de 1,5 km a jusante da cidade de Bom Jesus. Próxima a essa estação não há indústrias, no entorno dessa estação há grandes áreas destinadas a agricultura. A contaminação por Ferro e Manganês no Rio Manhuaçu, assim como em toda bacia do rio Doce, é de característica natural na região, mas que se intensifica com as atividades de mineração.

6. CONCLUSÕES

O objetivo dessa análise foi investigar a contaminação de metais pesados na bacia do rio Doce, relacionando a concentração de metais em sedimentos e em água com as fontes potencialmente poluidoras.

A metodologia seguida, de trabalhar apenas com dados de concentrações de metais, atende parcialmente ao objetivo definido, uma vez que avaliar o nível de contaminação por metais em corpos hídricos deve levar em consideração não somente a concentração de metais, mas também, as condições físico-químicas do meio onde estes são analisados.

Parâmetros como pH, condutividade e pressão são essenciais para a identificação das diferentes formas de como esses íons estão disponibilizados na natureza.

Ao analisar os dados de concentração de metais em água, observa-se que esses dados sofrem interferência da estação pluviométrica, o que não ocorre com os dados de sedimentos. O que evidencia que trabalhar com dados de sedimentos são mais resilientes e confiáveis para esse tipo de análise.

O uso de índices ambientais permite uma análise preliminar do problema, facilitando a interpretação dos dados. Entretanto, índices como o IGEO e o FC necessitam de um background específico para cada área estudada, pois generalizar e usar um único background para todas as áreas acaba subestimando ou superestimando os resultados. O que pode ter ocorrido no trabalho, pois o background escolhido foi para uma região onde

o metais como Ferro e Manganês são abundantes, no Quadrilátero Ferrífero - QF, e esses índices quando aplicado para toda bacia do rio Doce pode ter subestimado a contaminação por alguns elementos em áreas onde eles não se encontram em abundância na natureza.

A intensa atividade de extração de minérios na região do QF influencia na contaminação de água e sedimentos por metais como Ferro, Manganês, e outros associados a eles. Isso foi observado para as duas sub-bacias mais impactadas por contaminação de metais, que são as sub-bacias dos rios Piranga e Piracicaba.

Outros setores industriais: metalúrgico e mecânico, também influenciam para contaminação por metais ao longo da bacia do rio Doce.

Apesar de todos os empreendimentos cadastrados no CTF/APP do IBAMA informarem que tratam corretamente seus efluentes, em alguns pontos de dados de concentração de metais em água, localizados a jusante de determinada indústria, foi verificado concentrações altas de metais (acima do permitido pela legislação). O que evidencia, que provavelmente há falhas no sistema de tratamento dessas indústrias. E uma fiscalização por parte dos órgãos ambientais competentes é de extrema relevância.

REFERÊNCIAS

- ABISOLO. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **Matérias-primas para fertilizantes foliares.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/FERTILIZANTES-FOLIARES_ABISOLO.pdf>. Acesso em novembro de 2019.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira. Resíduos Sólidos – Classificação.** Segunda edição. 31 de maio de 2004.
- ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P. & CAMARGO, O.A. **Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros.** Tópicos em Ciências do Solo, v. 4, p. 1-42, 2005.
- AMARAL, B.; DE ARAUJO, J. A.; PERALTA-ZAMORA, P. G.; NAGATA, N. **Simultaneous determination of atrazine and metabolites (DIA and DEA) in natural water by multivariate electronic spectroscopy.** Microchemical Journal (Print), v. 117, pp. 262-267, 2014.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos. Despoluição de Bacias Hidrográficas.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília – DF. 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2015. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce – Rompimento da Barragem em Mariana/MG.** 2016.
- ARAÚJO, R.V.V.; SANTOS, R. L.C.; SOBRAL, L. G. (2002). **Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Tapira / Fosfertil.** In: ENTMM, 19, Recife, 2002.
- ARCELOMITTAL. **Relatório de Sustentabilidade de 2018.** Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com.br/sala-imprensa/publicacoes-relatorios>>. Acesso em junho de 2019.
- ARCHETI, E. A. M. E. **Gestão Ambiental e Oportunidades de Minimização de Resíduos Industriais em Curtumes na Cidade de Franca – SP.** São Carlos, SP: UFSCAR, 2001. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pós-Graduação em Engenharia Urbana.
- AZZOLINI, J. C.; FABRO, L. F. **Controle da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de celulose e papel da região meio oeste de Santa Catarina.** Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 3, n. 1, p. 75-90, jan./jun. 2012.
- BERNINGER, J.C. **Avaliação Ecotoxicológica da Água e Sedimento de Tributários do Reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê Superior).** São Carlos. 281p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. 2001

BORMA, L. De. S. SOARES, S. M. **Drenagem Ácida e Gestão de Resíduos Sólidos de Mineração. Capítulo 10.** CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. 2002.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 318p. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 430, de 13 maio 2011.** Dispões sobre as 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. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** São Paulo: J. E. Cavalcanti, 2009.

CBH-DOCE. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.** Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia>>. Acesso em outubro de 2019.

CCME. Environmental Canada. **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables.** <<http://www.ec.gc.ca>>, atualizado em 2002.

CESAN - **Companhia Espírito-santense de Saneamento.** Página Institucional da Companhia. Disponível em: <<https://www.cesan.com.br/empresa/sobre-a-cesan/>>. Acesso em novembro de 2019.

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral. Luz, A. B. Da; Sampaio, J.A; França, S.C.A. **TRATAMENTO DE MINÉRIOS.** 5ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: 2010a.

CETEM. Centro de tecnologia mineral- Rio de Janeiro. **Agrominerais para o Brasil, 2010.** Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/novolivro/cap6.pdf>> 2010b.

CETEM. Centro de Tecnologia Mineral. **Capítulo 9 - Resíduos: Tratamento e Aplicações Industriais. Tecnologias de Rochas Ornamentais. Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** Rio de Janeiro. 2014.

CHANG, K. M. **Gestão Ambiental na Indústria de Fertilizantes: Diagnóstico Inicial dos Resíduos.** Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. MG. 2017.

CIMM. **Centro de Informação Metal Mecânica. Material Didático. Efluentes Industriais.** Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais#>. Acesso em: julho de 2019.

CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A. G.; LITTER, M. I. **Photodegradation of an azo dye of the textile industry.** Chemosphere, v. 48, p. 393, 2002.

CNRH. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos.** Resolução n° 91, de 5 de novembro de 2008. Ministério do Meio Ambiente. 2008.

CODEMGE. **Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais. Recursos Minerais de Minas Gerais.** Disponível em: <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/>>. Acesso em dez. de 2019.

COELHO, A. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES.** Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia. 227p. Niterói, 2007.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 454 de 1 de novembro de 2012.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 357 de 17 de março de 2005.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011.

COPAM. **Conselho Estadual de Política Ambiental.** Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 1, de maio de 2008.

COPASA - **Companhia de Saneamento de Minas Gerais.** Página Institucional da Companhia. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/a-copasa/a-empresa>>. Acesso em novembro de 2019.

COSTA, A. T. **Geoquímica das Águas e dos Sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma Área Afetada por Atividades de Extração Mineral.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Minas Gerais. 2001.

COSTA, A.T.; NALINI, H.A.; LENA, J.C.; FRIEZE, K.; MAGES, M.; **Surface Water Quality and Sediment Geochemistry in the Gualaxo do Norte basin, eastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** Environmental Geology, v. 45, n. 2, p. 226-235, 2003.

COSTA, A.T.; NALINI, H.A.; CASTRO., P.T.A.; LENA, J.C.; MORGENSTERN, P.; FRIESE, K. **Sediment Contamination in Floodplains and Alluvial Terraces as an Historical Record of Gold Exploitation in the Carmo River Basin, Southeast Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, v. 34, n. 3, p. 245-256. 2006.

COSTA M.M.; FERNANDES L.; DUARTE J.E.C. **Anuário mineral estadual Minas Gerais. Anos base 2010 a 2014.** Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 133 p. 2017.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil.** *Química Nova*, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CPRM. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce – Relatório 01: Acompanhamento da onda de cheia - Primeira Campanha de Campo.** Belo Horizonte, dezembro de 2015a.

CPRM. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce – Relatório 02: Geoquímica.** Belo Horizonte. Novembro de 2015. 2015b.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce. Minas Gerais e Espírito Santo e Resultados Analíticos de Amostras Geoquímicas.** Rio de Janeiro. RJ. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>> 2016.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia, 3ª ed. Revisada e atual.** Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.: Rio de Janeiro, 152p., 1976.

DESCHAMPS, E.; MATSCHULLAT, J. **Arsênio antropogênico e natural: um estudo em regiões do Quadrilátero Ferrífero.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2007.

DIAS, S. E. V.; CARLONI, A. R.; MELO JÚNIOR, T. A. De. **Resíduos e Efluentes gerados pelos curtumes de Franca: Uma análise considerando as novas exigências internacionais.** Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Nossa Senhora Aparecida. FNSA. Revista Eletrônica: Diálogos Acadêmicos. V.07. nº 2, p. 49-66. julho-dezembro de 2014.

EDLINGER, A.R.; SALVADOR, J.; MATTEI, D. ASSUNÇÃO, M.G. BETTIOL, V.R. **Caracterização de Efluente de Indústria Metalúrgica e Proposta de Tratamento.** IFRS – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia/GO. 19 a 22 de novembro de 2012.

ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. **Reciclagem: Reciclagem de baterias: análise da situação atual no Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, v. 2, p.14-20, dez. 2004.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. Minas Gerais. 2014.

FERREIRA, B.C.S. **Precipitação de sulfato contido e, efluentes líquidos gerados no setor mineiro-metalúrgico**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. MG. 2010.

FERREIRA, M. S. **A formação de redes de conhecimento nas indústrias metal-mecânica de confecções de Nova Friburgo**. 2002. 147 f. Tese (Mestrado em Engenharia da Produção) -COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

FRACÁCIO, R. **Utilização de Bioensaios Ecotoxicológicos com Danio Rerio (Cypriniformes, Cyprinidae) e análises Limnológicas para a avaliação ambiental dos reservatórios do médio e baixo rio Tietê (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2001.

GARNIER, J. et al. **Solid Speciation and Availability of Chromium in Ultramafic Soils from Niquelândia, Brazil**. Journal of Geochemical Exploration, v. 88, p. 206-209, 2006.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. **Corantes têxteis**. Química Nova, v. 23, n. 1, p. 71-77, 2000.

GUILHERME, L.R.G. et al. **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos**. Tópicos em Ciências do Solo, v. 4, p. 345-390, 2005.

GUIMARÃES, D. Departamento Nacional Mineral. **Informações sobre aparelho e dispositivos para extração de ouro de aluvião**. 1942.

HAKANSON, L. (1980) **An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach**. Water Research, v.14, n.8, p. 975-1001.

HERINGER. **Indústria de Fertilizantes S.A.** Disponível em <http://www.heringer.com.br/heringer/web/conteudo_pti.asp?conta=45&tipo=29514&idioma=0>. Acesso em novembro de 2019.

IBAMA. Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras do IBAMA (CTF/APP). Disponível em: <<http://ibama.gov.br/cadastr/ctf/ctf-app>> Acesso em novembro de 2018.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Laudo Técnico Preliminar. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo – Características da População e dos Domicílios. Rio de Janeiro. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama das Cidades. População do último Censo Demográfico. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>> 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta do Brasil SF-23-X-A-III-4 Ouro Preto. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBIS%20-%20RJ/SF-23-X-A-III-4.jpg>>. Acesso em dezembro de 2019.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Encarte Técnico – 02 anos de Monitoramento da Qualidade da Água Bruta do Rio Doce. Espírito Santo. 2017.

IGAM. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piranga. PARH Piranga. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Piranga.pdf,> 2010a.

IGAM. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba. PARH Piracicaba. 2010b.

IGAM. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Santo Antônio. PARH Santo Antônio. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Santo_Antonio.pdf. > 2010c.

IGAM. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Suaçuí Grande. PARH Suaçuí Grande. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Suacui_Grande.pdf> 2010d.

IGAM. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Caratinga.** PARH Caratinga. Disponível em <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH_Caratinga.pdf> . 2010e.

IGAM. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Manhuaçu.** PARH Manhuaçu. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Manhuacu.pdf>. 2010f.

IGAM. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Guandu.** PARH Guandu. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Guandu.pdf>. 2010g.

IGAM. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Santa Maria do Doce.** PARH Santa Maria do Doce. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_SM_Doce.pdf>. 2010h.

IGAM. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos São José.** PARH São José. 2010i.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Qualidade das Águas Superficiais em Minas Gerais em 2013.** Resumo executivo. Belo Horizonte. Março de 2014.

IGAM. 2018. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Água Superficial.** Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/318-agua-superficial>>. Acesso em janeiro de 2018.

IGAM. Instituto Mineiro das Águas. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Doce - Relatório Anual 2009:** IGAM: 444 p. 2010.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Programa Águas de Minas.** Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2>>. Acesso em 2019.

JUNIOR, L.G.G. **Importância do Estudo Sobre o CTR (Centro de Tratamento de Resíduos) na Empresa Ciclus Ambiental.** Monografia para conclusão do curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” em Gestão Ambiental. Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro. 2013.

KABLIN. **Site institucional da empresa Kablin S.A.** Disponível em: <<https://klabin.com.br/negocios-e-produtos/>> Acesso em dezembro de 2019.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E., MONTE, M. B. M., NASCIMENTO, M. **Agrominerais – fosfato**. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2.ed. 2008. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/07-agrominerais-fosfato.pdf>>. Acesso em novembro de 2019.

LIMA, E. D. A. M. **Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Prognóstico Geoquímico Ambiental da Zona Estuarina do Rio Botafogo, Pernambuco**: Tese de Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Geologia 2008.

LIMA, E.M.; FRANZEN, M.; CAVALCANTE, R.; CUNHA, F.G; COSTA, S.S. **O Projeto Geoquímica Multiusos da CPRM no Estado de Pernambuco - Objetivos e Estágio Atual dos Trabalhos Rio Grande do Sul**. XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. III Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul. 9 a 14 de outubro de 2011.

LUZ, A. B. Da.; LINS, F.A.F. **Capítulo 1: Introdução ao Tratamento de Minérios**. Coordenação de Processos Mineraias – COPM. Centro de Tecnologia Mineral- CETEM. Rio de Janeiro. Agosto de 2010.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R.P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B.R.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. **Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil**. Applied Geochemistry, v. 15, n. 2, p. 181-190.

MENDONÇA, F.P.C. **Influência da Mineração na Geoquímica das Águas Superficiais e dos Sedimentos no Alto Curso da Bacia do Ribeirão Mata Porcos, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2012.

MENESES, I.; RENGER, F.E.; DESCHAMPS, E. **History and socioeconomy—Iron Quadrangle**. In: DESCHAMPS, E.; MATSCHULLAT, J. **Arsenic: natural and anthropogenic**. Flórida: CRC Press. v. 4, p. 73-80. 2011.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=parag%C3%AAnes>>. Acesso em: dezembro de 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Texto Básico sobre Impactos Ambientais no Setor de Extração Mineral. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos**. Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental. Brasília, DF. Abril de 2001.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Métodos de Lavra**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/177708/M%C3%A9todos+de+Lavra/4a5b23b4-d07a-46c5-9efd-8f9b136e8860?version=1.0>>. Acesso em: novembro de 2019.

MÜLLER, G. **Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River.** Geojournal, v. 2, n. 3, p. 108-118. 1969.

MUNIZ, D.H.F.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. **Metais Pesados Provenientes de Rejeitos de Mineração e Seus Efeitos Sobre a Saúde e o Meio Ambiente.** Universitas: Ciência da Saúde, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006.

NASCIMENTO, L.P.; REIS D.A.; ROESER, H.M.P.; SANTIAGO, A.F. **Avaliação geoquímica de metais em sistemas fluviais afetados por atividades antrópicas no Quadrilátero Ferrífero.** Engenharia Sanitária e Ambiental. vol.23 no.4 Rio de Janeiro jul./ago. 2018.

NOGUEIRA, B. **Talco: Pedra que vira arte. Revista Mineração. 2017.** Disponível em: <<http://revistamineracao.com.br/2017/04/13/talco-pedra-que-vira-arte/>>. Acesso em: dezembro de 2019.

NOGUEIRA, G.R.F. **A Extração de Areia em Cursos D'água e Seus Impactos: Proposição de uma Matriz de Interação.** Trabalho final de curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora. 2016.

NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals.** Nature, v. 33, p. 134-139, 1988.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes: série P+L.** São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: setembro de 2019.

PARRA, R.R.; ROESER, H.M.P.; LEITE, M.G.P.; NALINI JR., H.A.; GUIMARÃES, A.T.A.; PEREIRA, J.C.; FRIESE, K. **Influência Antrópica na Geoquímica de Água e Sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais-Brasil.** Geochimica Brasiliensis, v. 21, n. 1, p. 36-49. 2007.

PAULO, R. L. SERRA, J. C. V. **Estudo de Caso Envolvendo uma Indústria de Fertilizantes na Cidade de Porto Nacional/ TO.** Universidade Federal do Tocantins. Palmas. Tocantins. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão. Volume 10, Nº 2, pp. 316-323. 2015.

PINHEIRO W.F., FERREIRA FILHO O.B., NEVES C.A.R. (coords.). **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas.** Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. 31 p. 2016.

PIRES, J.M.M. et al. **Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano.** Revista Árvore, v. 27, n. 3, p. 393-397. 2003.

PIRH-Doce. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce.** Volume I. Relatório Final. Consórcio ECOPLAN-LUME. Junho de 2010.

PMSB-GV. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Governador Valadares.** Prefeitura Municipal de Governador Valadares. Governador Valadares. Minas Gerais. Maio de 2016.

PNMA. **Política Nacional do Meio Ambiente.** Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

POLETO, C. **Ambiente e Sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, 2008.

PONTES, I. F.; ALMEIDA, S. L. M. **Capítulo 35: Talco. CETEM. Rochas e Minerais Industriais.** 2ª edição. 2008.

QUARTZITO DO BRASIL. **Página institucional da empresa Quartzito do Brasil.** Disponível em: <<https://quartzito.com.br/produtos/>>. Acesso em: outubro de 2019.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P.; ALVIM, L. B.; AMORIM, C. C. **Gestão de Resíduos na Indústria Têxtil e sua Relação com a Qualidade da Água: Estudo de Caso.** IJIE. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

RENOVA. **Fundação Renova.** Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/fundacao/>>. Acesso em: novembro de 2019a.

RENOVA. **Fundação Renova.** Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/noticia/sao-jose-do-goial-mg-podera-comecar-as-obras-de-saneamento/>>. Acesso em: novembro de 2019b.

RIZK, M.C.; SILVA, N.M.; MACHADO, C.S.O. **Aspectos e Impactos de uma Indústria de fabricação de Estruturas Metálicas.** IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Energia e Ambiente. Porto Alegre. RS. 2014.

ROESER, H.; ROESER, P. A. **O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados.** Geonomos, v. 18, p. 34-37, 2010.

RUBIO, J; OLIVEIRA, C; SILVA, R. **Aspectos Ambientais nos Setores Mineiro e Metalúrgico.** Capítulo 17 do Livro de Tratamento de Minérios. 5ª edição. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro. 2010.

SANTOLIN, C.V.A. **Quantificação e Avaliação da Contaminação por Metais e Arsênio em Sedimentos da Bacia do Rio Doce – MG.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2015.

SÃO JOSÉ. **Página institucional da Indústria São José.** Disponível em: <<http://indsaojose.com.br/empresa.html>>. Acesso em dezembro de 2019.

SEMAD. **Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.** Parecer único do Processo de Licenciamento Ambiental da Indústria de Baterias Raiom Ltda. 2008.

SEMAD. Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Parecer único do Processo de Licenciamento Ambiental da Indústria IMBÓ – Beneficiamento Indústria e Comércio de Borracha Ltda.** 2011.

SEMAD & IGAM. **Relatório Trimestral 2º trimestre de 2018: Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte – MG, 2018.

SILVA, A. E. B.; REZENDE, A. M. M.; QUEIROZ, C. M.; MEDEIROS, M. M.; SILVA, S. B.; SILVA, O. G.; FERREIRA, U. V. S. **Pilhas e Baterias: Elucidando a educação/aprendizagem numa temática ambiental.** XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI) Salvador, BA, Brasil – 17 a 20 de julho de 2012.

SILVA, A. P. M.; ROHLFS, D. B. **Impactos à saúde humana e ao meio ambiente causados pelo descarte inadequado de pilhas e baterias usadas.** Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Programa de Pós-graduação em Biociências Forenses. 2011.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados pela mineração.** Revista Espaço da Sophia - Nº 08. novembro de 2007.

SIMEONOV V, STRATIS JA, SAMARA C, ZACHARIADIS G, VOUTSA D, ANTHEMIDIS A, SOFONIOU M, KOUIMTZIS T. **Assessment of the surface water quality in northern Greece.** *Water Research*, Amsterdam, v.37, n.17, p. 4119-4124, 2003.

TOMLIN D. **Geographic Information Systems and cartographic modeling.** New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 249p, 1990.

TUREKIAN, K. K.; WDEPOHL, K. H. **Distribution of elements in some major units of the Earth's crust.** Geological Society of American Bulletin, v. 72, p. 175-192, 1961.
USIMINAS. Página institucional da empresa. Disponível em: <https://www.usiminas.com/>. Acesso em junho de 2019.

VALE. **Companhia Vale do Rio Doce. Beneficiamento a Umidade Natural.** Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/initiatives/innovation/processing-based-on-natural-moisture/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: novembro de 2019.

VICQ, R.F.C. **Mapeamento Geoquímico e Estabelecimento de Valores de Referência (Background) de Sedimentos Fluviais do Quadrilátero Ferrífero.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Geologia. Ouro Preto, MG, 2015.

WESENBEG, D.; KYRIAKIDES, I.; AGATHOS, S. N. **White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents.** *Biotechnology Advances*, v. 22, p. 161-187, 2003.

WIECHETECK, G.; FERREIRA, I.V.L.; DELUQUI, K.K.; ADRIANI, M.S. **Impactos Ambientais de Abatedouros e Medidas Mitigadoras.** XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún, México, 27 a 31 de outubro de 2002.

WILSON L, MIKROUDIS G, FANG H. **Expert systems application in environmental geotechnology.** *Geology Computer-Aided Processes in Instruction and Research*: 339-351, 1985.