



Universidade de Ribeirão Preto  
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

DENISE ARAÚJO SALVIANO

PLANO DE AÇÃO A SER IMPLANTADO NO ATERRO CONTROLADO,  
VISANDO MINIMIZAR POSSÍVEIS IMPACTOS EM CORPOS DE ÁGUA  
SUPERFICIAIS NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE MINAS  
GERAIS

RIBEIRÃO PRETO  
2021

Denise Araújo Salviano

PLANO DE AÇÃO A SER IMPLANTADO NO ATERRO CONTROLADO,  
VISANDO MINIMIZAR POSSÍVEIS IMPACTOS EM CORPOS DE ÁGUA  
SUPERFICIAIS NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE MINAS  
GERAIS

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do Título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias de Universidade de Ribeirão Preto.  
Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata

Ribeirão Preto  
2021

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de  
Processamento Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

S184p Salviano, Denise Araújo, 1988-  
Plano de ação a ser implantado no aterro controlado, visando  
minimizar possíveis impactos em corpos de água superficiais na  
região central do Estado de Minas Gerais / Denise Araújo  
Salviano. – Ribeirão Preto, 2021.  
145 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2021.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Chorume. 3. Contaminação da  
água. 4. Recursos hídricos. 5. Poluição ambiental. I. Título.

CDD 628

## DENISE ARAÚJO SALVIANO

### “PLANO DE AÇÃO A SER IMPLANTADO NO ATERRO CONTROLADO, VISANDO MINIMIZAR POSSÍVEIS IMPACTOS EM CORPOS DE ÁGUA SUPERFICIAL NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS”

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 18 de junho de 2021

Resultado: APROVADA

## BANCA EXAMINADORA

Gustavo Almeida  
Frata

Assinado de forma digital por  
Gustavo Almeida Frata  
Dados: 2021.06.18 20:03:07 -03'00'

Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata  
Presidente/Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

LUCIANO FARIAS DE  
NOVAES:0504050643  
43

Assinado de forma digital por LUCIANO FARIAS DE  
NOVAES:0504050643  
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Presencial,  
ou=5962100300195, ou=Secretaria de Receita  
Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e-CPF A3, ou=lem  
branco1, cn=LUCIANO FARIAS DE  
NOVAES:0504050643  
Dados: 2021.08.05 16:42:55 -03'00'

Profa. Dr. Luciano, Farias de Novaes  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

  
Prof.Dr. Celso Luiz Franzotti  
Faculdade de Tecnologia - FATEC

Ribeirão Preto  
2021

Dedico este trabalho aos  
meus pais, Alzira Maria Araújo Salviano e César Salviano da Costa, e  
ao meu amigo e companheiro, Igor Andreoni Barbabela, que  
sempre me apoiaram e  
acreditaram no meu sonho, e às minhas amigas e irmãs, Luísa Araújo, Luísa  
Bourjaile, Grazielle Oliveira e Denise Anete, que me ajudaram e me incentivaram na  
concretização desta pesquisa.

Obrigada!

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Dr. Gustavo Almeida Frata, à Coordenadora do Programa de Mestrado e Doutorado em Tecnologia Ambiental, Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira, aos Professores, Dr. Luciano Farias de Novaes e Dr. Valdir Schalch, aos amigos, Igor Lacerda Ferreira e Leila Lúcia Dias, e à Técnica Superior, Franciele Saraiva Fonseca, pela dedicação, competência e apoio a qual me possibilitou a conclusão deste trabalho, muito obrigada!

Aos colegas de sala do Mestrado em Tecnologia Ambiental, pelas sugestões e contribuições. Obrigada!

À Carla Roberta Almeida e à Natália Aparecida de Rezende, da Divisão de Pós-Graduação, pelo auxílio e dedicação. Obrigada!

## RESUMO

A deposição de resíduos sólidos diretamente sobre o solo, permite a percolação e o escoamento superficial dos líquidos provenientes da decomposição de microrganismos, podendo comprometer solo e corpos d'água. No aterro controlado em estudo, a disposição de resíduos é realizada sem qualquer medida de controle de contaminação. De forma a contribuir com a proteção ambiental do município em questão, o objetivo deste trabalho consistiu na avaliação da qualidade das águas superficiais próximas ao seu aterro controlado e na proposição de estratégias de medidas corretivas dos possíveis impactos ambientais provocados pelo mesmo. Para isso, foram coletadas informações a respeito das características do aterro e do local, como forma de disposição de resíduos, operação, topografia, hidrografia, diferença de cota altimétrica entre o aterro controlado e os corpos d'água próximos, o solo e a vegetação da região. A partir disso, foram determinados 5 locais de coleta de amostras de água, sendo 4 em cotas inferiores à do aterro e em bacias de influência do mesmo e 1 acima e fora de bacias de influência, servindo de ponto controle para obtenção de parâmetros locais e comparação de valores. As amostras foram coletadas no período de seca e de chuva e analisou-se parâmetros físico-químicos e microbiológicos para determinação da influência do aterro na contaminação desses corpos hídricos e, assim, estabelecer um plano de ação contendo medidas corretivas. Os resultados das análises demonstraram que, embora o ponto controle não tenha uma qualidade totalmente adequada aos padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2, com DBO, fósforo, ferro, cromo elevados nesse ponto e nos pontos 1, 2, 3 e 4, indicando serem elementos característicos da região, os parâmetros coliformes termotolerantes, níquel, cobre e zinco não atenderam aos padrões nos pontos 1, 2, 3 ou 4, tendo os mesmos não ultrapassado no ponto controle. Isso oferece indícios de possível influência da disposição de resíduos sólidos diretamente no solo e necessidade de adoção de medidas de redução de impactos. Este trabalho sugeriu um plano de ação a ser implantado no aterro em estudo, de modo a minimizar possíveis impactos às águas superficiais, com duração de 18 meses, contendo procedimentos como reconfiguração geométrica, instalação de uma cobertura de baixa permeabilidade acima dos resíduos, camada de solo e vegetação, além da execução de sistema de coleta e de tratamento de líquidos percolados e de sistema de coleta de águas pluviais. A manutenção da integridade da cobertura, o monitoramento ambiental das instalações implantadas, a gestão de líquidos percolados gerados e o monitoramento dos corpos d'água são imprescindíveis, até que ocorra a estabilização da massa de resíduos, onde a mesma se torna inerte com o tempo, sem mais a produção de líquidos percolados poluentes.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos. Líquido percolado. Chorume. Contaminação da água. Recursos hídricos. Poluição ambiental. Impacto ambiental. Passivo ambiental. Gestão de resíduos sólidos.

## ABSTRACT

The deposition of solids residues directly on soil surface, allows the percolation and surface leakage of the liquids from the decomposing of microorganisms, and may compromise soil and water bodies. In the controlled landfill under study, waste disposal is carried out without any contamination control measures. As a means of contributing to the environmental protection of the municipality in question, the objective of this work consisted of assessing the quality of surface water near a controlled landfill and proposing strategies of corrective measures the possible environmental impacts caused as a result. For that purpose, information about the characteristics of the landfill and the location was collected, such as about how to dispose of waste, the operation, the topography, the hydrography, the difference in elevation levels between the controlled landfill and nearby bodies of water, and also about the soil and the vegetation of the region. From then, 5 sites for gathering water samples were determined, 4 of which were at levels lower than the landfill and in basins of influence and 1 above and outside the basins of influence, serving as a control point for obtaining local parameters and comparison of values. The samples were collected during drought and rain periods, and physical-chemical and microbiological parameters were analyzed to determine how the landfill influenced their contamination of this waters, thus allowing an action plan for corrective measures to be established. The results of the analyses showed that, although the control point quality was not fully adequate to the standards established in the legislation for Class 2 fresh water – with BOD, phosphorus, iron, and chromium levels elevated –, and at points 1, 2, 3, and 4, indicating that they are characteristic elements of the region, the thermotolerant coliform parameters, nickel, copper, and zinc levels were above the; the control point did not exceed these standards. This provided evidence of a possible influence of the disposal of solid waste directly on the soil and the need to adopt to reduce impact reduction measures. This work suggest an action plan to be implemented in the landfill under study, in order to minimize possible impacts to surface water, with a duration of 18 months. Containing procedures such as geometrical reconfiguration, installation of a low permeability cover above the waste mass, layer of soil and vegetation, in addition to the of percolated liquids collection and treatments system executionas well as, rainwater collection system. The maintenance of cover integrity, the environmental monitoring of installed facilities, liquid percolation management, and the water body monitoring is essential, until further stabilization of the waste mass, which becomes inert over time, no longer producing polluting percolated liquids.

**Keywords:** Solid urban waste. Percolating liquid. Sludge. Water contamination. Water resources. Environment pollution. Environmental impact. Environmental liability. Solid waste management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Proporção entre RSU coletados e não coletados no Brasil em 2019.....	29
Figura 2 - Índice de cobertura de coleta de RSU por região em 2019 .....	30
Figura 3 - Índice de cobertura de coleta de RSU por região em 2019 .....	30
Figura 4 - Proporção entre a destinação de RSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários no Brasil em 2019 .....	31
Figura 5 - Proporção entre a destinação de RSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários por região em 2019.....	32
Figura 6 - Proporção entre RSU coletados e não coletados no Sudeste em 2019 ...	33
Figura 7 - Índice de cobertura de coleta de RSU por estado na Região Sudeste em 2019 .....	33
Figura 8 - Proporção entre a destinação de RSU em aterros sanitários, lixões e aterros controlados no Sudeste em 2019.....	34
Figura 9 - Proporção entre a destinação de RSU em destinações regularizadas ambientalmente, não regularizadas, lixões e aterros controlados por município em Minas Gerais em 2018 .....	35
Figura 10 - Proporção entre a população atendida por destinações regularizadas ambientalmente, não regularizadas, lixões e aterros controlados em Minas Gerais em 2018 .....	35
Figura 11 - Mapa de localização do aterro controlado no município situado na Região Central de Minas Gerais - Brasil.....	36
Figura 12 - Mapa de localização da Bacia do Rio Santo Antônio, Sub-bacia do Rio Doce.....	42
Figura 13 - Etapas da metodologia utilizada neste trabalho.....	52
Figura 14 - GPS Garmin, Modelo GPSPMAP 64s.....	54
Figura 15 - À esquerda, foto da coleta de amostras de água na estação seca (novembro de 2019) e à direita, na estação chuvosa (março de 2020) .....	55
Figura 16 - Localização do aterro controlado e da zona urbana da sede do município situado na Região Central de Minas Gerais.....	57
Figura 17 - Localização da UTC e do aterro controlado no município situado na Região Central de Minas Gerais.....	63
Figura 18 - Placa de identificação da UTC no município situado na Região Central de Minas Gerais .....	64
Figura 19 - Entrada da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	64

Figura 20 - Parte do local de triagem da UTC no município situado na Região Central de Minas Gerais .....	65
Figura 21 - Local em que ocorre a descarga dos RSU na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	65
Figura 22 - Administração, refeitório e sanitários da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	66
Figura 23 - Mesa de segregação dos resíduos na área de triagem da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	66
Figura 24 - Armazenamento em baias dos materiais recicláveis da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	67
Figura 25 - Materiais recicláveis enfardados e prontos para comercialização na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	67
Figura 26 - Pátio de compostagem sem pilha de composto orgânico e, ao fundo, pneus com risco de acúmulo de água e surgimento de criadouro de vetores na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	68
Figura 27 - Vidros armazenados em caixas de papelão e caixas de madeira na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	68
Figura 28 - Materiais segregados em embalagens e preparados para serem enfardados na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	69
Figura 29 - Placa de entrada do aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	69
Figura 30 - Vista do aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	70
Figura 31 - Equipamentos utilizados para aterrar resíduos no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	70
Figura 32 - Resíduos de construção e desaterro (RCD) no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	71
Figura 33 - Eliminação de carcaças animais em vala construída no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais .....	71
Figura 34 - Poligonal do aterro controlado do município localizado na Região Central de Minas Gerais .....	74
Figura 35 - Guarita de controle de acesso e chegada de caminhão com resíduos no aterro controlado em estudo .....	75
Figura 36 - Local de descarte de resíduos domiciliares no aterro controlado em estudo – Ausência de material de forração .....	76

Figura 37 - Resíduos de construção civil no aterro controlado em estudo e momento de descarte desse tipo de resíduo e pá carregadora para acomodação do mesmo .	76
Figura 38 - Local de descarte de carcaças animais no aterro controlado em estudo – Material de forração insuficiente.....	77
Figura 39 - Escoamento direto no solo de água pluvial do aterro controlado em estudo .....	77
Figura 40 - Líquidos percolados do aterro extravasando na canaleta de drenagem de água pluvial da Rodovia MG -10, próximo ao aterro controlado em estudo.....	78
Figura 41 - Localização da captura das imagens onde havia extravasamento de líquidos percolados do aterro em estudo .....	78
Figura 42 - Topografia da região do aterro controlado em estudo .....	80
Figura 43 - Hidrografia e bacias de drenagem do aterro em estudo .....	82
Figura 44 - Solo do tipo Neossolo Litólico Distrófico na região do aterro controlado em estudo .....	84
Figura 45 - Solo raso e com rocha exposta na superfície na região do aterro em estudo .....	85
Figura 46 - Mapa do tipo de bioma existente na área onde está situado o aterro em estudo .....	87
Figura 47 - Mapa do tipo de vegetação existente na área onde está situado o aterro em estudo.....	88
Figura 48 - Vegetação do entorno do aterro controlado em estudo .....	89
Figura 49 - Mapa indicativo da localização, altitude e bacias de drenagem dos pontos de coleta água.....	92
Figura 50 - Valores do parâmetro DBO para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	100
Figura 51 - Valores do parâmetro fósforo para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	101
Figura 52 - Valores do parâmetro cromo para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	101
Figura 53 - Valores do parâmetro ferro para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	102
Figura 54 - Valores do parâmetro pH para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	102
Figura 55 - Valores do parâmetro alcalinidade para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	104

Figura 56 - Valores do parâmetro coliformes termotolerantes para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4.....	104
Figura 57 - Valores do parâmetro níquel para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	105
Figura 58 - Valores do parâmetro cobre para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	105
Figura 59 - Valores do parâmetro zinco para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	106
Figura 60 - Valores do parâmetro OD para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	107
Figura 61 - Valores do parâmetro sódio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	107
Figura 62 - Valores do parâmetro cálcio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	108
Figura 63 - Valores do parâmetro potássio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	108
Figura 64 - Valores do parâmetro turbidez para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	109
Figura 65 - Valores do parâmetro sólidos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	109
Figura 66 - Valores do parâmetro sólidos suspensos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4.....	110
Figura 67 - Valores do parâmetro sólidos dissolvidos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4.....	110
Figura 68 - Valores do parâmetro dureza para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	111
Figura 69 - Valores do parâmetro manganês para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	112
Figura 70 - Valores do parâmetro DQO para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4 .....	113
Figura 71 - Quadro-resumo dos parâmetros que possuem padrões estabelecidos nas legislações, seus cumprimentos nos pontos controle 1, 2, 3 e 4 e provável fator de influência .....	115
Figura 72 - Quadro-síntese dos indícios que poderiam estar relacionados com a influência do aterro controlado nas águas superficiais.....	115

Figura 73 – Sistema de drenagem de líquidos percolados .....	115
Figura 74 – Dreno cego para captação de líquidos percolados .....	115
Figura 76 – Croqui de instalações e pontos de monitoramento de água .....	115

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Número de funcionários da empresa de mineração.....	37
Tabela 2 - Estimativa da quantidade de RSU dispostos no aterro controlado .....	60
Tabela 3 - Frequência e horários de serviço de coleta convencional.....	61
Tabela 4 - Aterro em estudo, locais de coleta e altitudes correlacionadas.....	93
Tabela 5 - Resultados das análises e padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2 e para lançamentos de efluentes em corpos de água .....	96
Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais.....	124
Tabela 7 – Cronograma físico de execução de obras de recuperação do aterro controlado em estudo.....	129

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
Al	Especiais
	Alumínio
AM	Amazonas
Art.	Artigo
Ba	Bário
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
d	Dia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DN	Deliberação Normativa
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAPUR	Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
Funec	Fundação de Ensino de Contagem
GPS	Global Positioning System
h	Hora
ha	Hectare
hab	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE- SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IQA	Índice de Qualidade de Água
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISWA	International Solid Waste Association
Jr.	Junior
K	Potássio
kg	Quilograma
km	Quilômetro

L	Litro
LDM	Limite de Detecção do Método
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
MG	Minas Gerais
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
mg	Miligrama
min	Minuto
mm	Milímetro
Mn	Manganês
Na	Sódio
N-NH <sub>3</sub>	Nitrogênio Amoniacal
NBR	Norma Brasileira
Ni	Níquel
NMP	Número Mais Provável por Cem Mililitros
Nº	Número
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
PA	Pará
Per.	Período
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PGRS	Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PR	Paraná
RCC	Resíduos da Construção Civil
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RJ	Rio de Janeiro
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
s	Segundo
S	<i>South</i>
SP	São Paulo
S.A	Sociedade Anônima
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNAERP	Universidade de Ribeirão Preto
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UTC	Usina de Triagem e Compostagem
Zn	Zinco
W	<i>West</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	24
3.2	TIPOS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	24
3.2.1	Depósito de Resíduos Sólidos a Céu Aberto ou Lixões .....	24
3.2.2	Aterros Controlados.....	25
3.2.3	Aterros Sanitários .....	25
3.3	LÍQUIDOS PERCOLADOS E DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	27
3.4	PANORAMA DA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	29
3.4.1	Panorama Brasileiro de Disposição Final dos Resíduos Sólidos.....	29
3.4.2	Panorama da Região Sudeste de Disposição Final dos Resíduos Sólidos	32
3.4.3	Panorama Mineiro de Disposição Final dos Resíduos Sólidos.....	34
3.4.4	Panorama do Município, em Estudo, Situado da Região Central de Minas Gerais de Disposição Final dos Resíduos Sólidos .....	36
3.5	LEGISLAÇÃO VIGENTE .....	38
3.5.1	Padrões de Efluentes Líquidos Percolados de Aterros.....	40
3.5.2	Enquadramento e Padrões de Cursos D'água .....	41
3.6	IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO... 41	
3.7	MÉTODOS DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS PRÓXIMAS A ATERROS CONTROLADOS E LIXÕES .....	43
3.7.1	Adequações e Recuperação de Aterros Controlados de Maneira a Minimizar o Potencial de Contaminação de Corpos Hídricos.....	43
3.7.1.1	Reconfiguração geométrica.....	44
3.7.2	Líquidos Percolados Gerados .....	44
3.7.2.1	Estimativa da produção de líquidos percolados .....	44
3.7.2.2	Drenagem de líquidos percolados .....	45
3.7.2.2.1	Tratamento de líquidos percolados.....	45
3.7.2.3	Águas pluviais.....	46

3.7.2.3.1	Estimativa da vazão de águas pluviais escoadas superficialmente.....	46
3.7.2.3.2	Dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial .....	46
3.7.2.3.3	Drenagem de águas pluviais .....	47
3.7.2.3.4	Cobertura vegetal dos taludes.....	47
3.7.2.4	Monitoramento dos corpos d'água superficiais .....	48
3.7.2.5	Monitoramento ambiental .....	48
3.8	ESTUDOS SIMILARES .....	48
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.2	DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO .....	53
4.3	COLETA E ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO, PARA DETERMINAÇÃO DE SUA INFLUÊNCIA NA CONTAMINAÇÃO DOS MESMOS .....	54
4.4	PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS A SEREM EXECUTADAS NO ENCERRAMENTO DO ATERRO CONTROLADO, EM ESTUDO, DE MANEIRA A MINIMIZAR O POTENCIAL DE CONTAMINAÇÕES FUTURAS AOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.....	56
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	57
5.1.1	Aterro Controlado em Estudo .....	57
5.1.2	Estimativa da Quantidade de Resíduos Dispostos no Aterro Controlado	59
5.1.3	Serviços de Limpeza Pública, Coleta, Transporte e Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	60
5.1.4	Coleta Seletiva.....	61
5.1.5	Varrição .....	62
5.1.6	Capina/Poda.....	62
5.1.7	Local de Destinação Final dos Resíduos Públicos, Comerciais e Domiciliares Atualmente.....	62
5.1.8	Saneamento dos Locais de Disposição Final .....	72
5.1.9	Resíduos de Serviços de Saúde (RSS).....	72

5.1.10	Resíduos de Construção e Demolição (RCD) .....	73
5.1.11	Resíduos Industriais .....	73
5.1.12	Área Ocupada e Operação .....	73
5.1.13	Topografia e Hidrografia .....	79
5.1.14	Solo .....	83
5.1.15	Vegetação .....	87
5.2	LOCAIS DETERMINADOS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA	90
5.3	ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO, PARA DETERMINAÇÃO DE SUA INFLUÊNCIA NA CONTAMINAÇÃO DOS MESMOS .....	95
5.4	PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS A SEREM EXECUTADAS NO ENCERRAMENTO DO ATERRO CONTROLADO, EM ESTUDO, DE MANEIRA A MINIMIZAR O POTENCIAL DE CONTAMINAÇÕES FUTURAS AOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS .....	117
5.4.1	Reconfiguração Geométrica .....	118
5.4.2	Líquidos Percolados Gerados .....	119
5.4.2.1	Estimativa da produção de líquidos percolados .....	119
5.4.2.2	Drenagem de líquidos percolados .....	119
5.4.2.3	Tratamento de líquidos percolados.....	120
5.4.3	Águas Pluviais .....	121
5.4.3.1	Estimativa da vazão de águas pluviais escoadas superficialmente.....	121
5.4.3.2	Dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial .....	121
5.4.3.3	Drenagem de águas pluviais .....	121
5.4.4	Cobertura Vegetal dos Taludes .....	123
5.4.5	Monitoramento dos Corpos D'água Superficiais .....	123
5.4.6	Monitoramento Ambiental.....	123
5.4.7	Croqui de Instalações e pontos de monitoramento de água.....	124
5.4.8	Cronograma de Execução.....	126

<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>133</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>136</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A não existência de locais adequados para disposição final dos resíduos sólidos ainda é um desafio enfrentado por grande parte dos municípios brasileiros. Segundo o SNIS (2020), das unidades de processamento de Resíduos Sólidos Urbanos em operação em 2019, com disposição no solo (exceto valas específicas de Resíduos do Serviço de Saúde), no país, 48,12 % representavam lixões, 25,05 %, aterros controlados e 26,82 %, aterros sanitários.

Embora o percentual de municípios com lixões tenha diminuído nas últimas décadas de 88,2% em 1989 para 63,6% em 2000 (IBGE, 2020), os números mais recentes ainda são elevados e demonstram a necessidade de cumprimento do estabelecido na Lei Federal Nº 14.026/2020, que determina a implantação de disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos até 2020 (BRASIL, 2020).

Quando destinados de forma inadequada, os resíduos sólidos provocam a poluição do ar, da água e do solo, além de criar ambiente favorável para a proliferação de vetores de doenças (BESEN, 2011), trazendo consequências negativas para a qualidade de vida da população e o meio ambiente.

Os lixões ainda são muito comuns no Brasil, principalmente em municípios pequenos, com menos de 50 mil habitantes. Essa forma de disposição, caracteriza-se pela descarga de resíduos diretamente sobre o solo, sem qualquer estrutura ou técnica de proteção ao meio ambiente, o que libera maus odores e contamina as águas superficiais e subterrâneas (NAGALLI, 2005).

Já os aterros controlados são caracterizados como intermédio entre o lixão e o aterro sanitário, onde diariamente, cobre-se os resíduos sólidos com cobertos com solo ou outro material de forração, objetivando reduzir a propagação de animais transmissores de doenças. Esse tipo de aterro vem sendo uma opção cada vez mais utilizada pelos municípios como destino final de seus resíduos (IBGE, 2011).

No entanto, aterros controlados não devem ser considerados como o ponto final para muitas das substâncias presentes ou produzidas a partir do resíduo urbano, pois quando a água, principalmente das chuvas, percola pela massa de rejeitos, vários desses elementos são carregados junto ao líquido poluente formado pela decomposição dos resíduos. Os líquidos percolados podem tanto escoar superficialmente e atingir as águas superficiais, como infiltrar no solo e alcançar as

águas subterrâneas, comprometendo suas qualidades e, por conseguinte, seus usos (SISINNO; MOREIRA, 1996).

A poluição das águas pela disposição inadequada de resíduos sólidos pode ser física, química e biológica. As principais alterações físicas estão relacionadas às variações de gradientes de temperatura e ao aumento da turbidez. A poluição química reduz significativamente o nível de oxigênio dissolvido (OD) e aumenta a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Já a poluição biológica caracteriza-se pela elevação de coliformes totais e fecais, indicando indiretamente a presença de patógenos. Outras propriedades químicas da água como o pH, a dureza e a condutividade podem ser alteradas e tornar a água imprópria para o uso humano e para o equilíbrio ecossistêmico (MORALES, 2002).

Levando em consideração os potenciais impactos ambientais consequentes da disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, somado ao fato de no aterro controlado, em estudo, situado na Região Central de Minas Gerais, não ter existido nenhum estudo técnico prévio para escolha da área e não haver uma infraestrutura sanitária que fosse capaz de evitar os danos consequentes da disposição de resíduos, foi desenvolvida a presente pesquisa, a qual visa caracterizar os níveis de contaminação e poluição encontrados nos corpos d'água próximos, passíveis de serem afetados pelos líquidos percolados produzidos no aterro controlado do município e propor medidas corretivas a fim de subsidiar as ações político-administrativas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo realizar análise do aterro controlado, na Região Central do Estado de Minas Gerais, para propor plano de ação a ser implementado, visando reduzir os impactos em corpos de água superficial próximos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.2.1 Caracterizar a Área de Estudo, Levantando-se Informações das Características Operacionais do Aterro e do Local, da Topografia, da Hidrografia e das Características do Solo e da Vegetação da Região;
- 2.2.2 Determinar os Locais de Coleta de Amostras de Água nos Corpos de Água Superficiais Próximos ao Aterro Controlado;
- 2.2.3 Coletar e Analisar os Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos Nesses Pontos para Determinação da Possível Influência de Contaminação nos Mesmos;
- 2.2.4 Apresentar Propostas de Medidas Corretivas a Serem Executadas no Encerramento do Aterro Controlado, em Estudo, de Maneira a Minimizar o Potencial de Contaminações Futuras aos Corpos Hídricos Superficiais.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A classificação do resíduo sólido pode ser feita segundo sua origem, sendo determinados por exemplo como resíduos comerciais, públicos, domiciliares, industriais, provenientes de portos e aeroportos, bem como agrícola, e ferroviário. Esses e outros fatores levam autores como Gomes<sup>1</sup> (1989 *apud* CASTILHOS JÚNIOR, 2003) a associar de forma direta a geração de resíduos ao número de habitantes e aos hábitos da comunidade. Além disso, o lixo pode ser classificado como orgânico ou inorgânico segundo sua composição química, e em diferentes classes (classe 1, 2 e 3) de acordo com seu grau de periculosidade. A classe 1 se refere aos chamados resíduos perigosos, a classe 2 aqueles determinados como não inertes e a classe 3 são os inertes (CEMPRE, 2018).

O gerenciamento dos resíduos sólidos sejam eles domiciliares, comerciais e públicos é de responsabilidade da prefeitura do município enquanto os demais são de responsabilidade do próprio gerador (CEMPRE, 2018). A seguir discutiremos sobre os tipos de disposição de resíduos sólidos.

#### 3.2 TIPOS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

##### 3.2.1 Depósito de Resíduos Sólidos a Céu Aberto ou Lixões

O lixão é uma forma de deposição dos resíduos sem compactação ou cobertura, sem nenhuma técnica de proteção à saúde pública ou ao meio ambiente. Essa forma de disposição pode acarretar na poluição do solo, do ar e das águas subterrâneas e superficiais, devido à infiltração dos líquidos percolados, além da proliferação de vetores de doenças (RAMOS, 2004).

---

<sup>1</sup> GOMES, L. P. Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

### 3.2.2 Aterros Controlados

O aterro controlado é um tipo de deposição de resíduos geralmente utilizado em pequenas localidades, tais como municípios de até 20.000 habitantes ou até 10 toneladas diárias de resíduos. O aterro controlado se difere do lixão por apresentar uma etapa de cobertura dos resíduos utilizando uma camada de solo ou outro material, objetivando diminuição da proliferação de vetores de doenças (ZANTA; FERREIRA, 2003).

### 3.2.3 Aterros Sanitários

O aterro sanitário é um tipo de disposição de resíduo que segue normas operacionais e critérios de engenharia que permite uma confinamento mais segura em se tratando de controle da poluição e proteção ao ambiente (NAGALLI, 2005).

Esse método é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR 8419:1992 (ABNT, 1992) como a técnica de disposição de resíduos que não causa danos à saúde e à segurança, com impactos minimizados. O aterro sanitário faz o confinamento dos resíduos na menor área possível, utilizando princípios de engenharia e posteriormente, cobrindo com uma camada de terra. A degradação dos mesmos até o estado inerte no menor tempo possível e com o mínimo dano ao meio ambiente e financeiro é definido como aterro sustentável por Allen (2001).

O percentual de municípios com lixões vem diminuindo ao longo dos anos (aproximadamente 88% em 1989 e 64% em 2000 e 51 % em 2008), no entanto ainda é elevado o uso de destinação final inadequada para o lixo, o que reflete a urgência na implantação de disposição final ambientalmente adequada até 2020 fazendo-se assim o cumprimento do estabelecido na Lei Federal Nº 14.026/2020 (IBGE, 2000; 2008; 2020). A disposição inadequada do lixo provoca a poluição do ar, do solo, e nesse trabalho destaco a conseqüente poluição da água, o que traz conseqüências negativas para a qualidade de vida da população e para o meio ambiente (BESEN, 2011). Embora nos aterros controlados seja feita a cobertura dos resíduos sólidos com o objetivo de reduzir a propagação de doenças, esses não devem ser considerados como o ponto final para muitas das substâncias presentes ou produzidas a partir do

resíduo urbano, pois a água, principalmente das chuvas, carrega líquido poluente, podendo atingir as águas superficiais, e/ou infiltrar no solo e alcançar as águas subterrâneas (SISINNO; MOREIRA, 1996). Sendo assim, considerando que os lixões ainda são muito comuns no Brasil e que os aterros não constituem o meio ideal para o destino final de muitos resíduos, o estudo de avaliações de níveis de contaminação e poluição encontrados em corpos d'água próximos a aterros pode contribuir com a conscientização, compreensão e tentativa de mudança da situação.

Para que seja feita a implantação de um aterro sanitário devem ser seguidos critérios tais como: não estar em áreas de restrição ambiental, ser feito em solos mais espessos e que sejam menos sujeitos aos processos de escorregamento e erosão, em locais com aquíferos menos permeáveis, ter declividade adequada e estar distante o suficiente de habitações, assim como de cursos d'água e redes de alta tensão. É importante considerar uma elevada capacidade de receber resíduos, bem como os menores custos para sua instalação e manejo do aterro e maior proximidade com a zona urbana geradora (FIGUEIRÊDO, 2008).

A prevenção de contaminação das águas subterrâneas e do subsolo, sistemas de coleta de líquidos percolados e de gases, dispositivos de drenagem superficial, que diminua o afluxo de água, sistemas de cobertura final, que minimizem infiltração e erosão, são algumas das funções que devem ser conferidas à engenharia, utilizando revestimentos de fundo adequados e seguros, sendo essa uma das boas práticas da execução durante a construção de aterros. A essas práticas se acrescentam distâncias de pelo menos 500 m de núcleos populacionais, 200 m de corpos hídricos e 1,5 m entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático, medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região, e a disponibilidade de material argiloso para a cobertura e zoneamento ambiental compatível (ABNT, 1997).

Os potenciais impactos ambientais de um aterro são diversos - diretos e indiretos - mesmo obedecendo aos critérios-padrão de implantação. Materiais orgânicos e inorgânicos contidos em resíduos sólidos num aterro sanitário passam por processos de oxidação e decomposição biológica, aeróbia ou anaeróbia. Entre os impactos diretos, é possível citar as emissões gasosas, a poeira e o impacto sobre a paisagem, a poluição sonora e a produção de líquidos percolados. Como impactos indiretos destacamos os problemas sanitários e o tráfego de veículos transportadores. Vale ressaltar o papel altamente danoso dos líquidos percolados gerados pela decomposição dos resíduos como potencial poluidor ambiental, devido ao grande

volume produzido diariamente e acumulado por vários anos, além da composição variável. Esse é um impacto que requer medidas específicas de tratamento (CASAGRANDE, 2006).

### 3.3 LÍQUIDOS PERCOLADOS E DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O chorume é, de acordo a NBR 8419:1992 (ABNT, 1992), um “líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)”. Conforme Costa Leite *et al.*<sup>2</sup> (1982 *apud* SCHALCH, 1984), o chorume é gerado pela ação de exo-enzimas de bactérias, para digerirem a matéria orgânica.

O percolado é produzido quando as águas das chuvas infiltram pelo solo e resíduos sólidos de aterros ou lixões, carreando esse líquido formado pela decomposição da matéria orgânica (SCHALCH, 1984). De modo geral, esses líquidos percorrem um fluxo preferencial pelo subsolo, de forma descendente, devido à gravidade, no entanto, não necessariamente alcançam os corpos de água subterrâneos (LOPES, 2007). Os líquidos podem encontrar uma camada impermeável, constituída por rochas, ou uma superfície preparada para receber os resíduos sólidos, onde o mesmo acumula e escoar (FIGUEIRÊDO, 2008).

Logo, a origem do líquido percolado está relacionada com a água constituinte da matéria orgânica, que escorre com o decurso da decomposição; a umidade própria do resíduo sólido, que aumenta no período de chuvas; e das bactérias existentes na massa de resíduos, que liberam enzimas, que digerem a matéria orgânica, com produção de líquido (FIGUEIRÊDO, 2008).

Conforme Segato e Silva (2000), a quantidade de líquido percolado gerada depende de fatores, como umidade natural e grau de compactação do lixo, precipitação, escoamento superficial, infiltração subterrânea e retenção de umidade no solo.

A disposição planejada dos resíduos sólidos nos aterros sanitários consiste em canalizar o líquido percolado para um tanque a céu aberto, havendo ou não um pré-tratamento, e posteriormente, em alguns casos, é desaguado em bacias hidrográficas (FIGUEIRÊDO, 2008).

---

<sup>2</sup> COSTA LEITE *et al.* Avaliação da produção de percolado de lixo e da capacidade filtrante de aterros sanitários. Revista Engenharia Sanitária, 21 (01), p 90-99. 1982.

A produção do líquido percolado e seu escoamento, sem que se conceba o seu tratamento e disposição adequada, constituem uns dos problemas de saúde pública e ambientais mais importantes associados aos resíduos sólidos (CEMPRE, 2018). É importante ressaltar o grande impacto da poluição das águas pelos líquidos percolados na saúde pública, podendo propiciar intoxicações ou endemias na presença de substâncias tóxicas e organismos patogênicos em níveis superiores ao permitido (SISSINO; OLIVEIRA, 2000).

O líquido percolado é um efluente complexo, que de forma geral apresenta compostos orgânicos (substâncias húmicas, ácidos orgânicos, álcoois, solventes, compostos aromáticos, fenóis, pesticidas), metais potencialmente tóxicos (Zn, Cd, Pb, Cu) e diversos íons (amônio, cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, sulfeto, bicarbonato). Sua composição se altera em razão da idade do aterro, do tipo de resíduo depositado, do tipo de solo usado como cobertura da massa de resíduos, das condições do clima, da estação do ano e da hidrogeologia. Líquido percolado de aterros antigos possuem grande concentração de moléculas orgânicas persistentes, altos índices de Demanda Química de Oxigênio (DQO), alcalinidade e amônia e baixas Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e biodegradabilidade (MORAES; BERTAZZOLI, 2005). Além disso, a qualidade do líquido percolado é altamente dependente dos procedimentos operacionais e da codisposição dos resíduos industriais (KOSHY *et al.*, 2007).

Os processos anaeróbios são considerados mais efetivos na remoção de metais potencialmente tóxicos na forma de sulfetos, além de diminuições consideráveis de DQO. Esses processos também são mais eficazes no tratamento de líquidos percolados recentemente gerados (FERREIRA *et al.*<sup>3</sup> *apud* CASAGRANDE, 2006).

---

<sup>3</sup> FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G., RITTER, E., ROSSO, T.C.A., CAMPOS, J.C., LIMA, P.Z.M. Uma Revisão das Técnicas de Tratamento de Chorume e a Realidade do Estado do Rio de Janeiro. *In*: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais em CD-ROOM, III -108, João Pessoa, 2001. 11p.

### 3.4 PANORAMA DA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

#### 3.4.1 Panorama Brasileiro de Disposição Final dos Resíduos Sólidos

De acordo com a Abrelpe (2019), os dados demonstram que, em 2019, foram produzidos no Brasil 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o equivalente à geração de 379,2 quilos por habitantes por ano. Desse total, 92% foram recolhidos e 8% não foram coletados nos locais de geração (Figura 1).

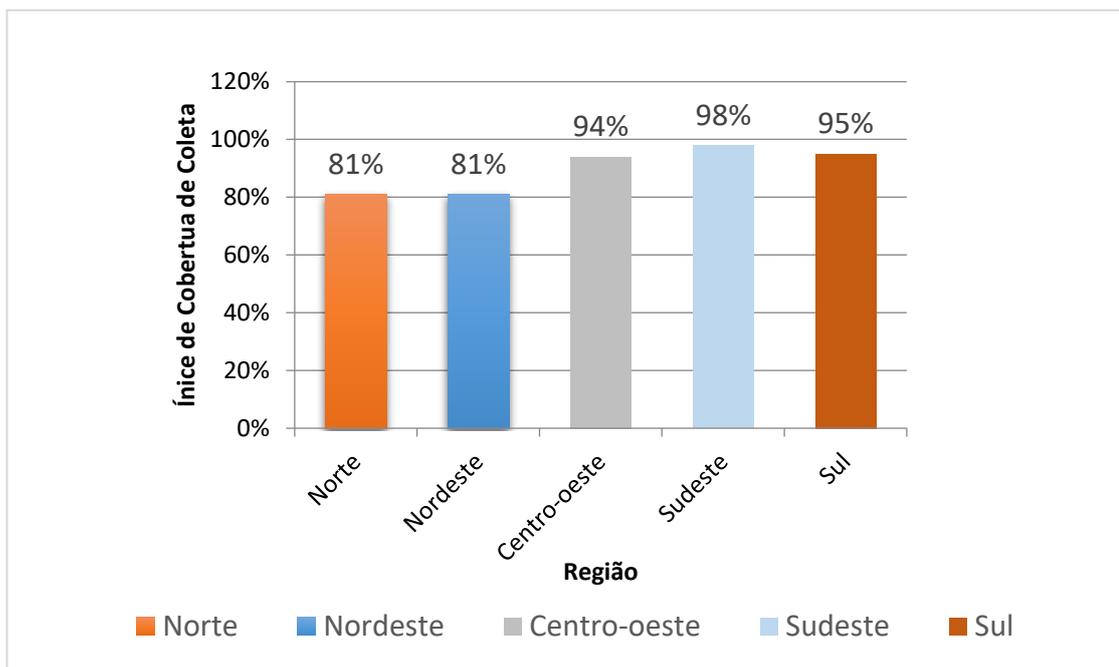
Figura 1 - Proporção entre RSU coletados e não coletados no Brasil em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2020).

A Figura 2 indica o índice de cobertura de coleta de RSU por região em 2019. As regiões norte e nordeste foram as que menos cobriram essa coleta e o sudeste e sul, as que mais cobriram (ABRELPE, 2019).

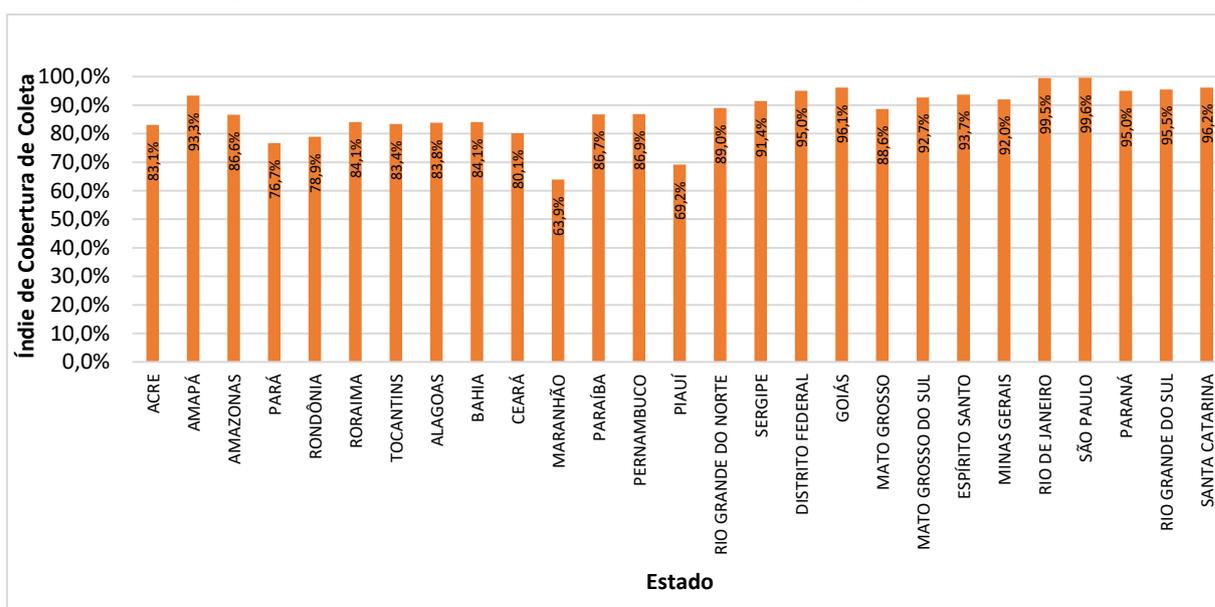
Figura 2 - Índice de cobertura de coleta de RSU por região em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

A Figura 3 indica o índice de cobertura de coleta de RSU por estado em 2019. Os estados do Maranhão e Piauí foram os que menos cobriram essa coleta e do Rio de Janeiro e São Paulo, os que mais cobriram (ABRELPE, 2019).

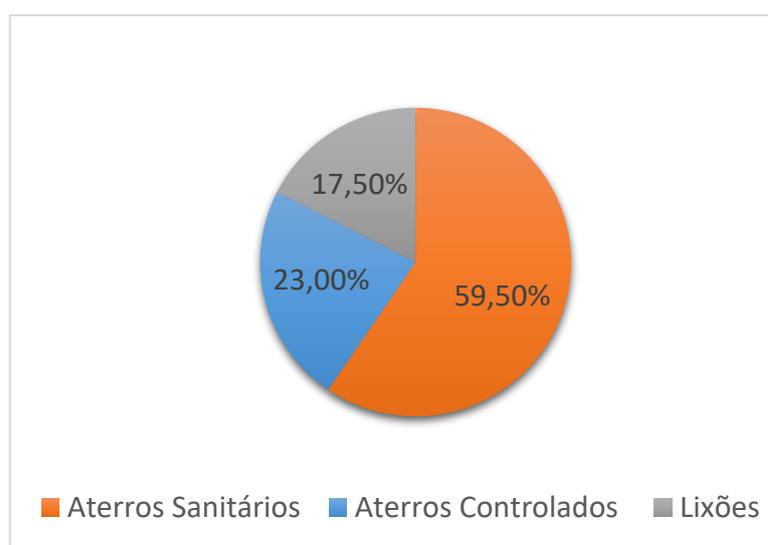
Figura 3 - Índice de cobertura de coleta de RSU por região em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

No Brasil, em 2019, a destinação correta em aterros sanitários captou 59,5% dos RSU recolhidos e o restante foi descartado em locais inapropriados como aterros controlados (23%) e lixões (17,5%), locais que não possuem medidas e sistemas imprescindíveis para resguardar a saúde da população e o meio ambiente contra prejuízos e degradações (Figura 4) (ABRELPE, 2019).

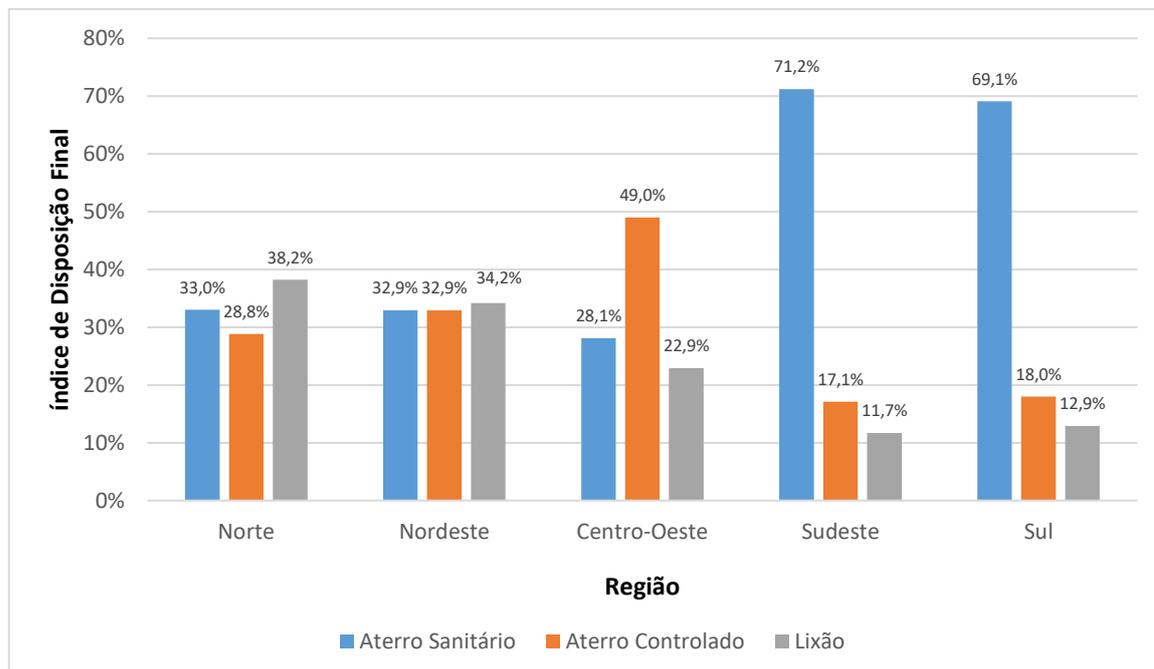
Figura 4 - Proporção entre a destinação de RSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários no Brasil em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

A Figura 5 indica a proporção entre a destinação de RSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários por região em 2019. Essa proporção é equilibrada nas regiões norte e nordeste e nas sudeste e sul, nestes há o grande predomínio de aterros sanitários.

Figura 5 - Proporção entre a destinação de RSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários por região em 2019

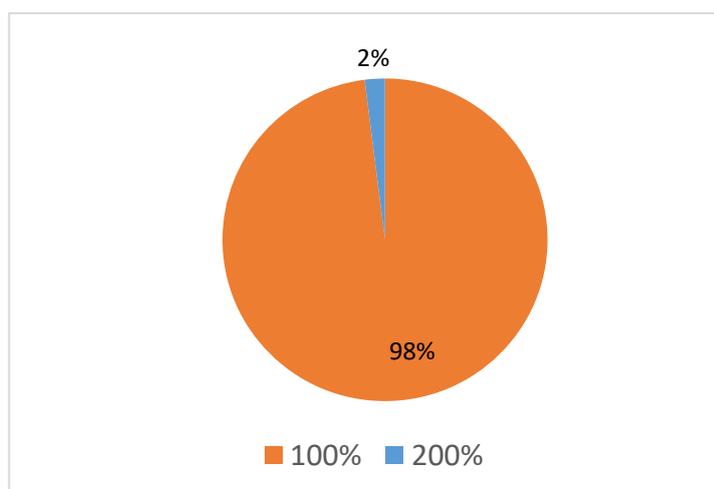


Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

### 3.4.2 Panorama da Região Sudeste de Disposição Final dos Resíduos Sólidos

Ainda conforme a Abrelpe (2019), no Sudeste, a região mais populosa do país é também a que mais gera RSU e a que mais coleta. Em 2019, os seus 1.668 municípios produziram 39 milhões de toneladas de RSU, o equivalente à geração de 449,7 quilos por habitantes por ano. Desse total, 98% foram recolhidos e 2% não foram coletados nos locais de geração (Figura 6).

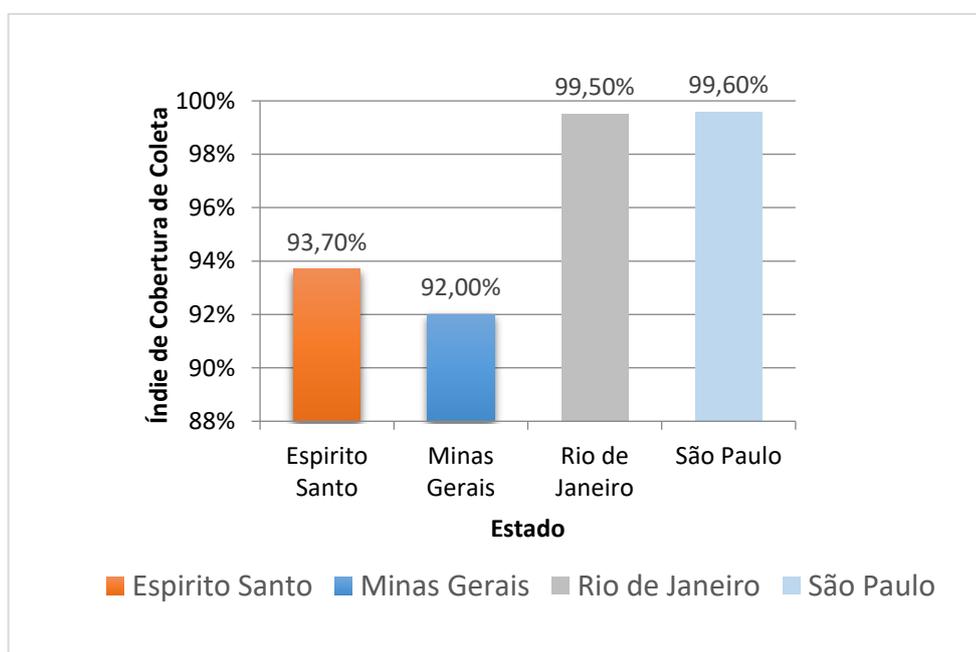
Figura 6 - Proporção entre RSU coletados e não coletados no Sudeste em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

A Figura 7 indica o índice de cobertura de coleta de RSU por estado na Região Sudeste em 2019. Minas Gerais foi o estado que menos cobriu essa coleta (ABRELPE, 2019).

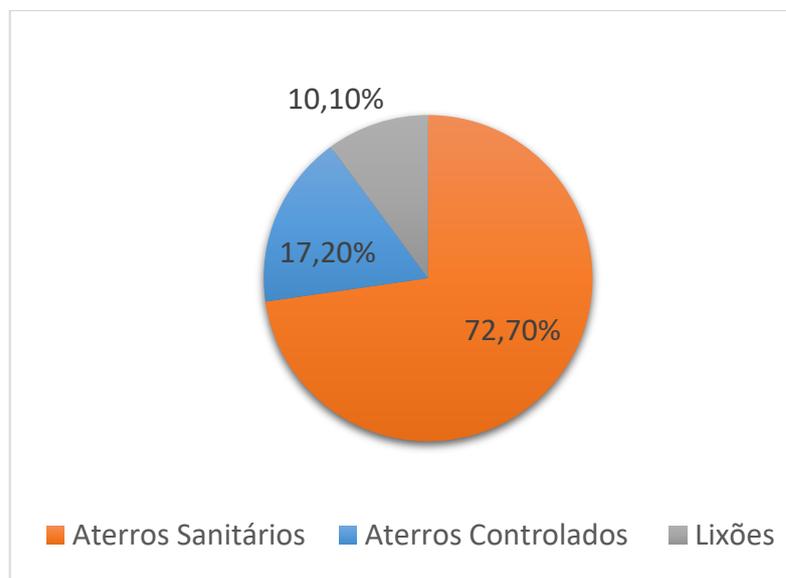
Figura 7 - Índice de cobertura de coleta de RSU por estado na Região Sudeste em 2019



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

A destinação correta em aterros sanitários captou 72,7% dos RSU recolhidos e o restante foi descartado em locais inapropriados como aterros controlados (17,2%) e lixões (10,1%) (Figura 8). Trata-se do maior índice de cobertura de coleta e da menor cifra de destinação inadequada do país (ABRELPE, 2019).

Figura 8 - Proporção entre a destinação de RSU em aterros sanitários, lixões e aterros controlados no Sudeste em 2019

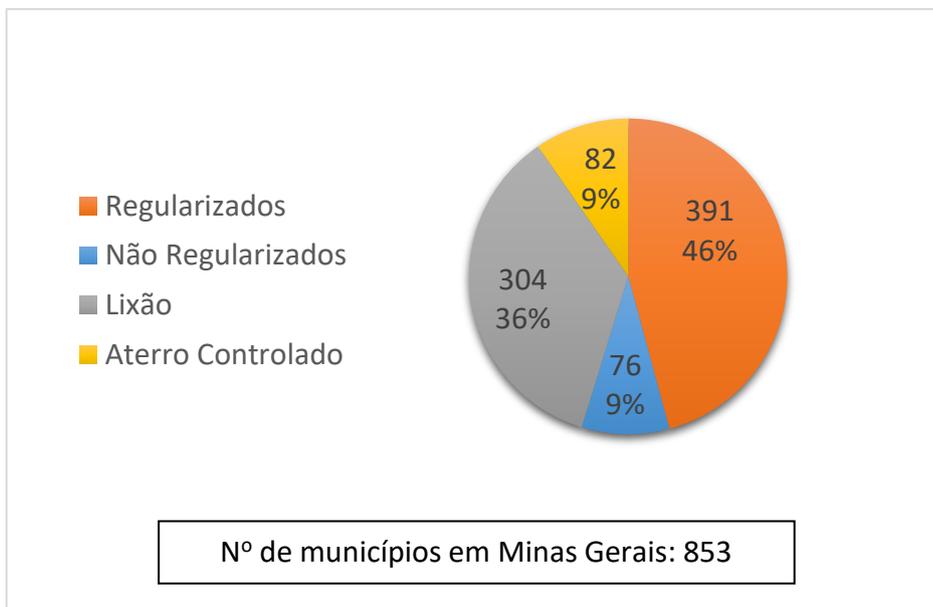


Fonte: Adaptado de Abrelpe (2019).

### 3.4.3 Panorama Mineiro de Disposição Final dos Resíduos Sólidos

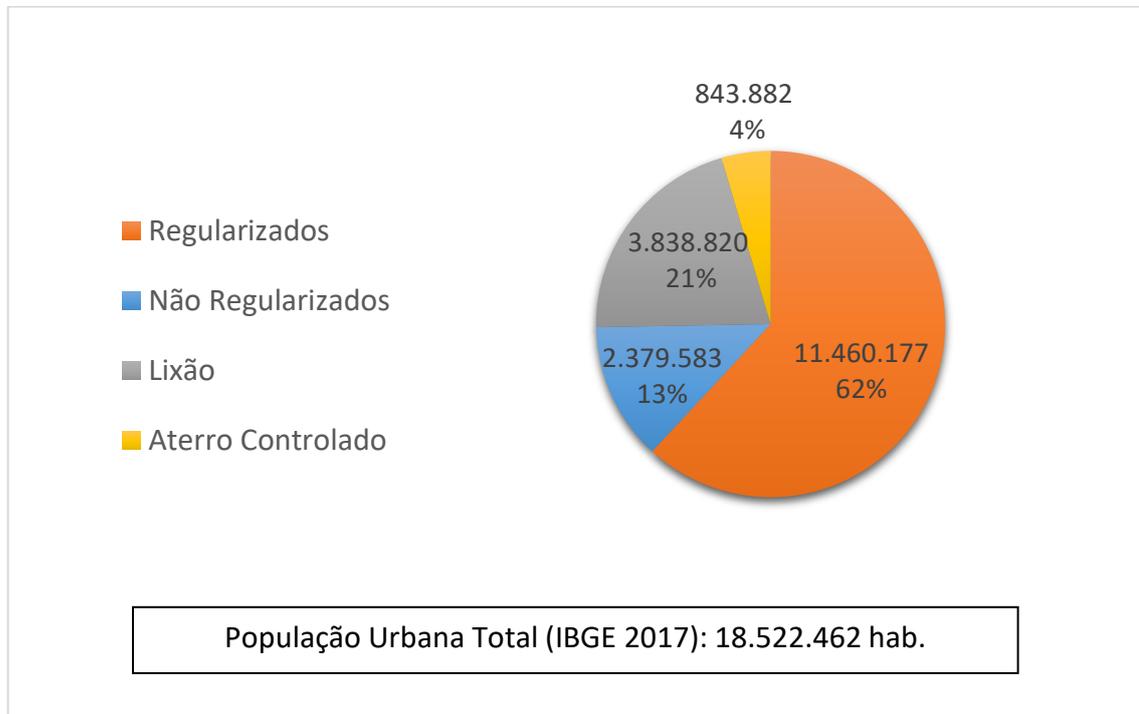
De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2019), em dezembro de 2018, 46% dos municípios mineiros possuíam sistemas de destinação final regularizados ambientalmente, como aterros sanitários, Usina de Triagem e Compostagem (UTC) ou o conjunto dos dois (aterros sanitários e UTC), atendendo à 62% da população urbana. Além disso, 9% dos municípios continham aterros sanitários ou UTC ainda não regularizados, assistindo à 13% da população. Os aterros controlados estavam operando em 9% dos municípios, prestando à 4% da população e os lixões estavam presentes em 36% dos municípios, recepcionando à 21% da população (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Proporção entre a destinação de RSU em destinações regularizadas ambientalmente, não regularizadas, lixões e aterros controlados por município em Minas Gerais em 2018



Fonte: Adaptado de FEAM (2019).

Figura 10 - Proporção entre a população atendida por destinações regularizadas ambientalmente, não regularizadas, lixões e aterros controlados em Minas Gerais em 2018

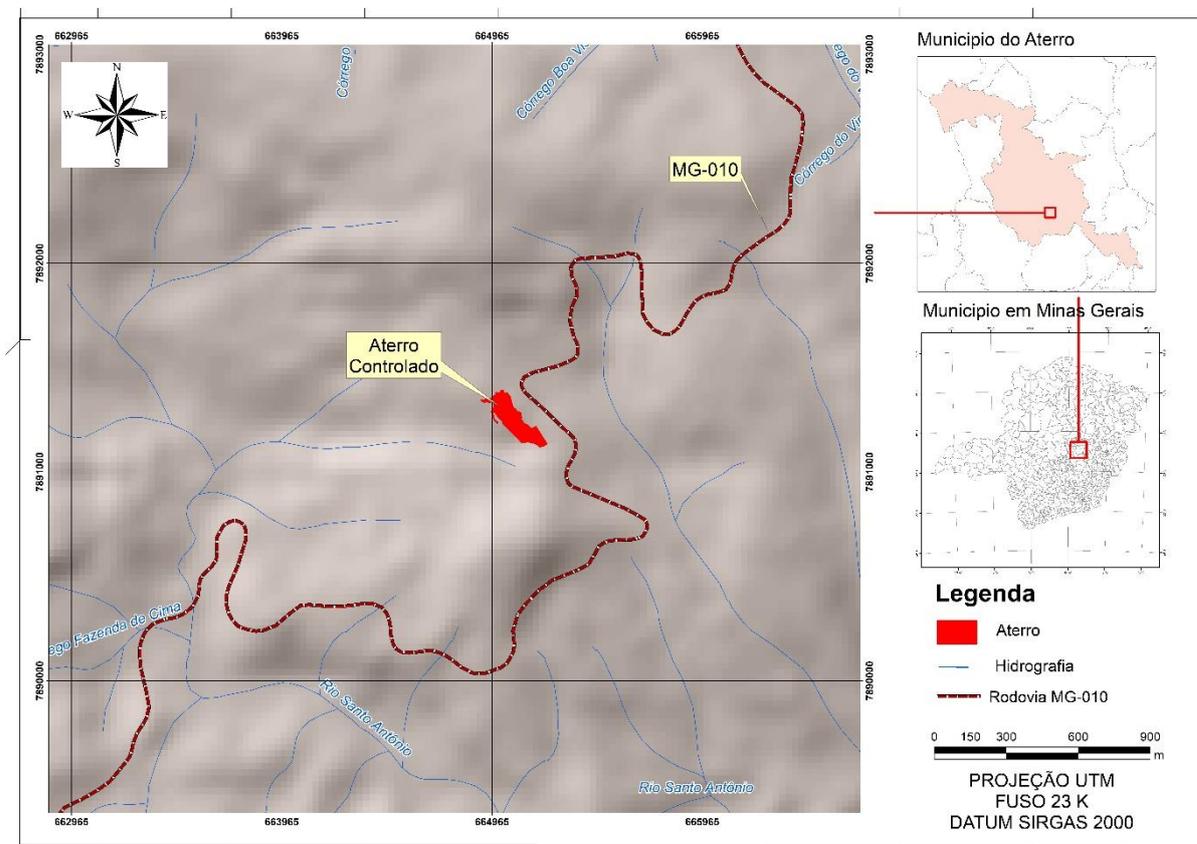


Fonte: Adaptado de FEAM (2019).

### 3.4.4 Panorama do Município, em Estudo, Situado da Região Central de Minas Gerais de Disposição Final dos Resíduos Sólidos

Em 2016, no município do aterro em estudo, localizado na Região Central de Minas Gerais (Figura 11), estima-se que foram coletadas cerca de 14 toneladas por dia de resíduos, o que corresponde à produção de aproximadamente 0,77 quilos por habitantes por dia (MINAS GERAIS, 2017). Esse valor se assemelha com o índice estimativo de produção *per capita* de RSU, adotados de acordo com a população urbana apresentado no “Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos” de 2016 pela CETESP, que é de 0,7 quilos por habitantes por dia, para populações de até 25.000 habitantes, sendo que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), estimava-se para o município em estudo uma população de 18.160 habitantes.

Figura 11 - Mapa de localização do aterro controlado no município situado na Região Central de Minas Gerais - Brasil



Fonte: Autora (2021).

Cabe ressaltar que os inventários de 2018 e 2019 da CETESP também apresentaram o mesmo índice estimativo de produção per capita de RSU que 2016 (0,7 kg/hab/dia), e de acordo com dados da Secretaria Municipal de Saúde do município em estudo, em 2020, a população estimada era de 20.935 habitantes.

Considerando essa peculiaridade, a prefeitura, onde o aterro está localizado, considera que exista no município uma população flutuante de cerca de 10.000 pessoas somadas ao estimado pelo IBGE.

Esse número foi estimado considerando dados da empresa mineradora instalada no município (Tabela 1), que em 2019 tinha uma média 4.718 funcionários, sendo 2.428 (51%) mão de obra não local.

Tabela 1 - Número de funcionários da empresa de mineração

Mão de obra					
	Local		Não local		Total
<b>Abr/2019</b>	2.198	49%	2.332	51%	4.530
<b>Mai/0219</b>	2.122	44%	2.647	56%	4.769
<b>Jun/2019</b>	2.548	52%	2.306	48%	4.854
<b>Média</b>	2.289	<b>49%</b>	2.428	<b>51%</b>	4.717

Fonte: Minas Gerais (2017).

A prefeitura considerou ainda, as informações apresentadas no processo de licenciamento do empreendimento minerário, que se baseou nos dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que estimam, que para cada emprego direto gerado pela indústria extrativa mineral, são gerados 1,4 empregos indiretos e 2,95 decorrentes do efeito aumento de renda.

Dessa forma, para a projeção da população flutuante do município, a prefeitura considerou que, cada emprego ocupado na mineradora por mão de obra não local, gerou mais 1,4 empregos indiretos e mais 2,9 empregos decorrentes do aumento de renda da população:

$2.428 \times 1,4 \times 2,9 = \mathbf{10.029 \text{ habitantes extra}}$  (flutuante e que se fixaram no município)

Apesar disso, conforme informado pela prefeitura, os resíduos gerados pelos funcionários da empresa de mineração, dentro do empreendimento, não estão

incluídos na produção média considerada no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB).

Quanto ao índice de cobertura de coleta, deve-se considerar que 100% da população (urbana + rural) será atendida até o fim da vida útil do aterro controlado, conforme Planos Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos e PMSB do município.

Ainda conforme a dados da prefeitura (MINAS GERAIS, 2017), em 2016, no município, parte dos resíduos coletados foram destinados à UTC e os seus rejeitos e o restante do que foi coletado foi para o aterro controlado. A coleta atendeu a toda a população urbana do município, o que corresponde a 76,98% da população total.

### 3.5 LEGISLAÇÃO VIGENTE

São princípios fundamentais previstos no Art. 2º da Política Nacional de Saneamento Básico - Lei Nº 11.445/2007, que justificam a necessidade de se mitigar os impactos provocados a corpos hídricos afetados por aterros controlados, o manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente; a articulação dos diversos setores políticos envolvidos; e a integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos (BRASIL, 2007).

Nesse sentido, o Art. 8º, da Lei Nº 12.305/2010, institui dentre os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos o monitoramento ambiental; a pesquisa científica e tecnológica; e no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles os padrões de qualidade ambiental e a avaliação de impactos ambientais (BRASIL, 2010).

De acordo com o Art. 2º, alínea “b” da Deliberação Normativa COPAM Nº 118/2008, aterro controlado é definido como técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a à segurança, minimizando os impactos ambientais, enquanto que aterro sanitário cumpre a mesma função, mas utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (MINAS GERAIS, 2008b).

Dessa forma, o aterro em estudo se enquadra na definição de aterro controlado, uma vez que o mesmo é cercado e possui guarita para controlar a entrada

de pessoas e animais, e após a chegada do resíduo, é utilizada máquina que compacta o mesmo e então é coberto com uma camada de solo. No entanto, diferente do aterro sanitário, que utiliza técnicas adequadas baseadas em princípios de engenharia, o aterro controlado não implantou um sistema impermeabilização e de drenagem pluvial para minimizar o ingresso das águas de chuva na massa de resíduos aterrado, permitindo assim, percolação e escoamento superficial dos líquidos gerados pela decomposição dos mesmos, podendo comprometer o solo e os cursos d'água superficiais e subterrâneos da região.

Além do mais, o aterro controlado objeto dessa pesquisa, não respeita os requisitos mínimos de distância mínima de rodovias e corpos d'água estabelecidas pela referida Deliberação Normativa. Dessa forma, esse tipo de aterro não é ambientalmente o mais adequado, e assim como os lixões, deve ser fechado de acordo com o estabelecido em diversas legislações.

O descarte irregular de resíduos foi proibido no Brasil pela Lei Nº 2.312/1954, que instituiu o Código Nacional de Saúde (BRASIL, 1954). Não se concretizou nada significativo no país durante quase 30 anos e a proibição foi reafirmada em 1981 por meio da Política Nacional de Meio Ambiente - Lei Nº 6.938 (BRASIL, 1981). Mais uma vez a determinação foi ignorada e, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei Nº 12.305/2010, estabeleceu que os lixões deveriam ser extintos até 2014 (BRASIL, 2010). E dessa vez, o descumprimento não foi diferente, atualmente, um novo adiamento do prazo para o fim dos lixões, desta vez para 2020, foi estabelecido pela Lei Nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), prorrogando mais uma vez os prejuízos para a saúde da população e para o meio ambiente.

O Município onde se situa o aterro está, atualmente, licenciando um aterro sanitário intermunicipal, devendo o aterro controlado ser descomissionado assim que possível. No entanto, enquanto isso não ocorre, o aterro controlado continua produzindo líquidos percolados da massa de resíduos e, possivelmente, contaminando o solo, as águas superficiais e as subterrâneas.

Os cursos d'água próximos ao aterro controlado em estudo desaguardam no Rio Santo Antônio e este, posteriormente, passa por outros municípios. Uma das diretrizes de ação para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei Nº 9.433/1997 é a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país. Dessa forma, descobrir se os afluentes deste importante rio estão contaminados, é de

extrema relevância, pois há a necessidade de se pensar na gestão dos recursos hídricos proporcionando o uso múltiplo das águas, onde os diferentes usuários de recursos hídricos possam a ter igualdade de direito de acesso à água (BRASIL, 1997).

### 3.5.1 Padrões de Efluentes Líquidos Percolados de Aterros

Para identificar a presença de poluição nas águas superficiais próximas ao aterro, uma alternativa é usar como base os padrões de lançamentos de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários que recebam líquidos percolados de aterros sanitários estabelecidos na legislação. Cabe ressaltar que, como o aterro controlado não possui sistema de drenagem pluvial e de líquidos percolados, estaremos analisando os líquidos produzidos pela decomposição dos resíduos que percolaram ou escoaram superficialmente até os corpos hídricos e foram diluídos com suas águas. Dessa forma, espera-se encontrar valores mais baixos que os estabelecidos na legislação para lançamentos direto de efluentes nos corpos d'água.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, em seu Art. 21, Parágrafo 2º, deixa a indicação desses parâmetros à cargo do órgão ambiental competente. Dessa forma, o órgão ambiental do Estado do Minas Gerais, em sua Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, Art. 29, Parágrafo 4º, estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, no corpo receptor desde que obedeçam, resguardadas outras exigências cabíveis, dentre outros parâmetros, o padrão de até 60 mg/L de DBO e 180 mg/L de DQO ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% e tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais (BRASIL, 2011; MINAS GERAIS, 2008a).

### 3.5.2 Enquadramento e Padrões de Cursos D'água

Outra possibilidade de avaliação da presença de poluição nas águas superficiais próximas ao aterro, é pela verificação do atendimento aos padrões da classe em que o rio que recebe as águas desses córregos se enquadra. De acordo com o Portal dos Comitês do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)<sup>4</sup>, o Rio Santo Antônio, canal principal para onde os córregos próximos ao aterro fluem, não possui enquadramento em classe, segundo os usos preponderantes.

Dessa forma, respeitando o artigo 42 da Resolução CONAMA nº 357, de 2005, o qual define que, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2 (BRASIL, 2005a). Assim, para fins dessa pesquisa, o Rio Santo Antônio será enquadrado desse modo e o ideal é que seus afluentes respeitem essa classificação.

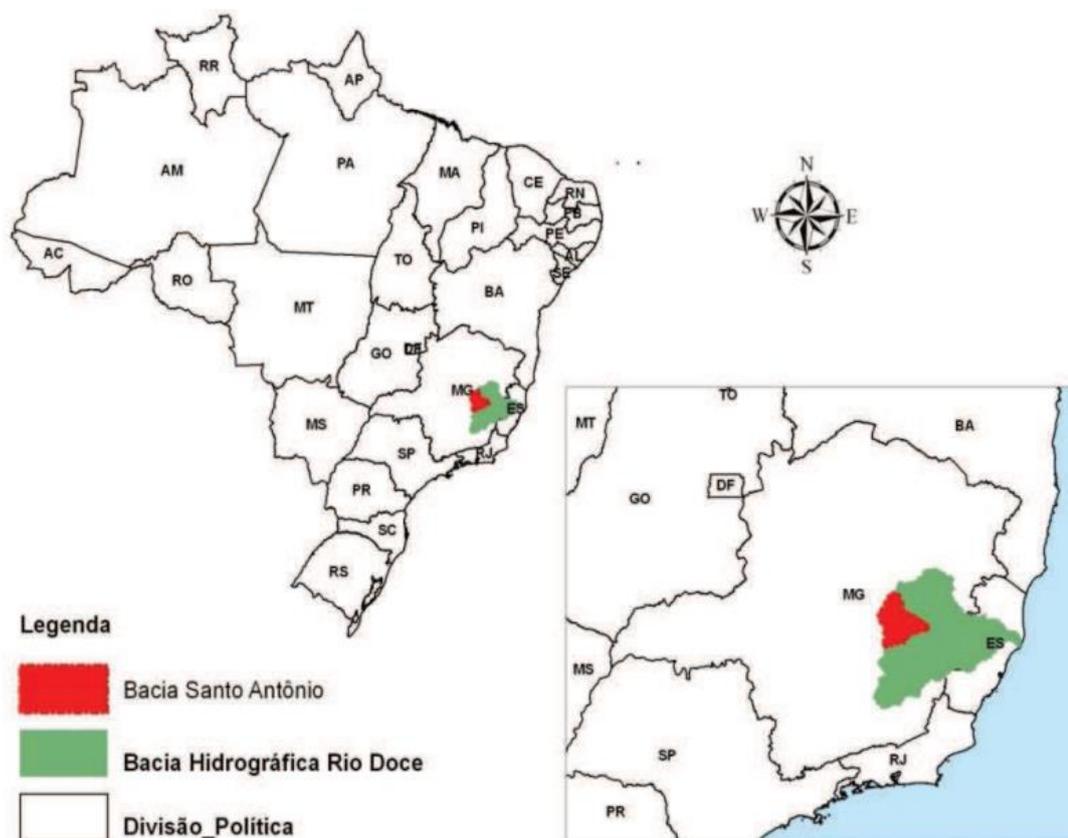
## 3.6 IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO

A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio se insere totalmente no Estado de Minas Gerais, possui uma área de 10.429,46 km<sup>2</sup> e pertence à Bacia do Rio Doce (Figura 12). Sua foz ocorre na divisa dos Municípios de Belo Oriente e de Naque, na margem esquerda do Rio Doce (OLIVEIRA, 2015).

---

<sup>4</sup> Acesso ao site <http://comites.igam.mg.gov.br/instrumentos-de-gestao-do3> em 06 ago. 2019.

Figura 12 - Mapa de localização da Bacia do Rio Santo Antônio, Sub-bacia do Rio Doce



Fonte: Oliveira (2015).

O Rio Santo Antônio nasce no município do aterro, em estudo, e apesar da área de drenagem da Bacia do Rio Santo Antônio equivaler a menos de 13% do total da Bacia do Rio Doce, abriga 89% da biodiversidade de peixes registradas no Rio Doce em Minas Gerais (VIEIRA, 2006), sendo uma área prioritária para a conservação da ictiofauna (DRUMMOND *et al.*, 2005).

Conforme Siqueira (2019), as principais de ameaças aos peixes no país estão relacionadas a barramentos, expansão urbana, atividades agropecuárias e poluição. Aliado a isso, o rompimento das barragens de rejeitos de mineração da Samarco S.A, ocorrido em 2015, pode ter causado redução no estado de conservação das espécies ameaçadas na Bacia do Rio Santo Antônio, bem como a inclusão de outras nessa categoria.

Após a avaliação das consequências desse acidente ambiental para a biodiversidade aquática do Rio Doce, verificou-se que é preciso executar medidas mitigadoras para os impactos ocasionados pela lama, tais como, reconhecer e proteger os tributários do Rio Doce que servem de refúgio e que poderão auxiliar na

recomposição da fauna prejudicada (BRASIL, 2015). Sendo assim, necessitam, urgentemente, ser empregadas medidas de controle da poluição das águas provocada pelo aterro controlado em estudo, cujo município, em que o mesmo está localizado, abriga a nascente do seu mais rico afluente.

### 3.7 MÉTODOS DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS PRÓXIMAS A ATERROS CONTROLADOS E LIXÕES

Os lixões e alguns aterros controlados não possuem sistema de drenagem de líquidos percolados e de águas pluviais, com isso, os recursos hídricos tornam-se criticamente poluídos e os compostos tóxicos podem alcançar grandes distâncias da fonte geradora. Dessa forma, o encerramento ou a adequação dos mesmos são fundamentais para reduzir os impactos atuais e futuros na saúde pública e no meio ambiente.

De acordo com a ISWA (2017), o método mais utilizado, fácil e talvez o mais barato para o encerramento de lixões para minimizar o potencial de contaminações futuras aos corpos hídricos, é a instalação de uma cobertura de baixa permeabilidade acima dos resíduos e, sobre a mesma, uma camada de solo e vegetação, além da instalação de um sistema básico de coleta de líquidos percolados e águas pluviais. A manutenção da integridade da cobertura, a drenagem das águas, a gestão dos líquidos percolados e o monitoramento dos corpos d'água são imprescindíveis, até que ocorra a estabilização da massa de resíduos, onde a mesma se torna inerte com o tempo, sem mais a produção de líquidos percolados.

#### 3.7.1 Adequações e Recuperação de Aterros Controlados de Maneira a Minimizar o Potencial de Contaminação de Corpos Hídricos

Conforme Bisordi *et al.* (2004) e Minas Gerais (2018), para minimizar os impactos aos corpos hídricos, um aterro controlado necessita basicamente das seguintes adequações:

### 3.7.1.1 Reconfiguração geométrica

Um maciço de resíduos formado sem geometria definida pode impossibilitar a execução do sistema de drenagem e causar problemas geotécnicos relacionados à instabilidade do maciço. Se houverem cursos d'água próximos à área do aterro, os acidentes geotécnicos podem desencadear impactos ambientais, oferecendo riscos à saúde das pessoas e dos outros seres vivos do local.

A reconfiguração modifica as formas que as plataformas de resíduos foram concebidas e é realizada adicionando-se revestimento externo de solo. Esse sedimento é utilizado para se corrigir as medidas de altura das plataformas, inclinação dos taludes e largura e inclinação das bermas.

A camada de impermeabilização superior do aterro é importante para o estabelecimento de uma barreira física sobre a massa de resíduos, diminuindo a quantidade de águas pluviais infiltradas, acarretando na redução de líquidos percolados gerados.

A decomposição gradual da matéria orgânica é capaz de provocar recalques diferenciais na superfície do aterro. Dessa forma, é necessário monitorar essas deformações e quando ocorrem, deve-se corrigir o surgimento de depressões não desejadas.

## 3.8 LÍQUIDOS PERCOLADOS GERADOS

### 3.8.1.1 Estimativa da produção de líquidos percolados

A projeção de um sistema de drenagem e de tratamento dos líquidos percolados da massa de resíduos pode ser realizada utilizando-se o seguinte Método Suíço, form.1, que fornece uma estimativa da vazão de líquidos produzidos:

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t} \quad (1)$$

Onde:

- Q = vazão média do líquido percolado (l/s);
- P = precipitação média anual (mm);
- A = área do aterro (m<sup>2</sup>);
- K = coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos;
- t = número de segundos em um ano (31.536.000 s/ano).

### 3.8.1.2 Drenagem de líquidos percolados

A ausência de drenagem dos líquidos percolados pode causar danos de ordem operacional, desestabilizando taludes, e ambiental, contaminando solo, águas subterrâneas e superficiais.

Para a concepção do sistema de drenagem é necessário observar o balanço hídrico do aterro controlado, aplicando-se o Método Suíço citado anteriormente.

A drenagem dos líquidos percolados deve ser projetada a partir de estudo planialtimétrico e executada nos platôs, nos pés e nas camadas dos taludes, em diferentes profundidades na massa de resíduos, destinando o mesmo para um poço de captação e bombeamento no nível inferior do aterro.

#### 3.8.1.2.1 Tratamento de líquidos percolados

O tratamento de líquidos percolados deverá ser realizado em estação de tratamento e sua eficácia deve ser monitorada periodicamente, considerando os padrões de lançamentos de efluentes de fontes poluidoras e a eficiência de tratamento para sistemas de percolados de aterros sanitários.

### 3.8.1.3 Águas pluviais

#### 3.8.1.3.1 Estimativa da vazão de águas pluviais escoadas superficialmente

O sistema de drenagem superficial pode ser dimensionado utilizando-se o método racional expresso pela fórmula básica, form. 2, para cada área de contribuição:

$$Q = C.I.A \quad (2)$$

Sendo:

Q = vazão de escoamento superficial (L/s);

C = coeficiente de escoamento superficial, função da impermeabilidade do terreno;

I = intensidade da precipitação máxima, pelo tempo de concentração da bacia (mm/min);

A = área de contribuição (ha).

#### 3.8.1.3.2 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial

Tendo-se estimada a vazão das diferentes áreas de contribuição do aterro controlado, é possível dimensionar os dispositivos da rede de drenagem superficial. Caso os mesmos tenham escoamento em livre superfície, sugere-se utilizar a Fórmula de Manning, form. 3, a seguir:

$$Q = Am \times RH^{2/3} \times i^{1/2} \times n^{-1} \quad (3)$$

Sendo:

Q = vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s);

Am = área molhada da seção transversal ocupada pelo líquido (m<sup>2</sup>);

i = declividade do dispositivo de drenagem (m/m);

$n$  = coeficiente de rugosidade;

$RH$  = raio hidráulico da seção (m), definido por form. 4:

$$RH = \frac{Am}{Pm} \quad (4)$$

Onde:

$Am$  = Área molhada ( $m^2$ );

$Pm$  = perímetro molhado (m).

#### 3.8.1.3.3 Drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais é essencial para a manutenção da estabilidade geotécnica do maciço de resíduos ao prevenir erosões, assoreamento de cursos d'água e infiltrações causadas pelas águas da chuva, devendo ser projetado a partir de estudos planialtimétrico e hidrológico e executado nas plataformas, nos seus taludes, no maciço e nas bermas para encaminhar as águas das precipitações até a parte mais baixa do aterro, onde se conecta a um corpo hídrico habilitado para captar toda a água pluvial que escoar pelas canaletas.

#### 3.8.1.3.4 Cobertura vegetal dos taludes

O sistema radicular das plantas sobre os taludes contribui para a estabilidade geotécnica dos mesmos e previne sua erosão e assoreamento de corpos d'água. Além disso, a evapotranspiração diminui a quantidade de águas de chuvas que infiltram no interior da massa de resíduos.

A melhora da paisagem, o enriquecimento da flora e a atração de fauna silvestre são outros aspectos positivos da implantação de cobertura vegetal sobre os taludes.

#### 3.8.1.4 Monitoramento dos corpos d'água superficiais

As águas superficiais próximas deverão ser monitoradas, periodicamente, considerando os parâmetros previstos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005a).

#### 3.8.1.5 Monitoramento ambiental

O uso de áreas para disposição final de RSU é uma atividade que envolve riscos potenciais de contaminação do meio ambiente. Dessa forma, o planejamento e a operação adequada das instalações descritas, além da implementação de procedimentos de redução dos possíveis impactos, acarretam na minimização desse potencial de degradação ambiental.

### 3.9 ESTUDOS SIMILARES

A implementação de aterros sanitários deve levar em consideração, dentre outros fatores, a localização, a hidrografia, a topografia, a caracterização e composição gravimétrica dos resíduos, a estabilidade estrutural do aterro, o controle e monitoramento de geração de gases e da qualidade dos recursos hídricos, a conservação ambiental e os aspectos sociais. Dentre as exigências técnicas para a operacionalização e o funcionamento de um aterro sanitário, cabe ressaltar os sistemas de impermeabilização da base, de coleta e tratamento de líquidos percolados, de detecção de vazamentos, de drenagem de águas pluviais e de gases, além da existência de solo disponível para cobertura dos resíduos e de poços de monitoramento do aquífero (SANTOS, 2004).

Massukado e Schalch (2010) avaliaram a qualidade física, química e microbiológica do composto originário da compostagem da parcela orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. Verificou-se que o composto recepcionou à maior parte dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, especialmente, relacionado à presença de organismos patogênicos e ao teor de metais. Apesar disso, no teste agudo, utilizando minhocas da espécie *Eisenia andrei* (ensaio ecotoxicológico), comprovou-se toxicidade do mesmo, com taxas de mortalidade expressivas, servindo

de indicador de possível contaminação ambiental e de ameaça à saúde humana. A toxicidade, que interferiu na sobrevivência das minhocas, provavelmente se relaciona à alta condutividade elétrica aferida para o composto.

Córdoba (2014) pesquisou o potencial de contaminação de líquidos percolados de aterros de resíduos da construção civil (RCC), realizando simulações em colunas de lixiviação e coletando água subterrânea do aterro de RCC classe A. O resultado demonstrou que há potencial de contaminação dos percolados gerados em aterros de RCC Classe A e podem vir a contaminar ou poluir o solo e as águas subterrâneas, tornando inviável seu uso para consumo humano. Os parâmetros que extrapolaram o valor máximo permitido para consumo humano nos testes foram: sulfato, dureza, cor, Pb, Cd, Ni, Fe, Ba, Cr, Mn, e Al.

Lopes (2007) analisou a gestão dos resíduos sólidos urbanos na bacia hidrográfica Tietê-Jacaré, no Estado de São Paulo, e examinou a influência da mesma na qualidade dos recursos hídricos da região, realizando-se coletas de água superficial, na área de influência de lixões e aterros, e subterrânea, a montante e a jusante de aterros para análises físico-química, ecotoxicológica e microbiológica. Foi verificada alteração das propriedades naturais dos recursos hídricos, denotando contaminação e poluição em alguns pontos. De acordo com as informações obtidas e as visitas, a pesquisa possibilitou concluir que não existe gestão integrada dos resíduos sólidos na bacia Tietê-Jacaré, à exceção de progressos em alguns municípios.

Almeida (2009) monitorou a qualidade das águas em locais próximos ao aterro sanitário de São Carlos – SP, por meio de coleta de poços de monitoramento de água subterrânea a montante e a jusante e superficiais em seu entorno. Constatou-se que alguns parâmetros apresentaram alterações significativas no poço a montante e nos poços a jusante, como Coliformes, DBO, DQO, Carbono Orgânico Total, Cor, pH, Condutividade Elétrica, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amônia e Fósforo Total. Além disso, os resultados demonstram indícios de contaminação e de poluição do córrego por escoamento superficial de substâncias que estão sendo carregadas, visto que a maior parte dos parâmetros mostrou concentração mais elevadas que as estabelecidas pelas legislações vigentes. Estes resultados também foram constatados por Lopes (2007) ao monitorar a qualidade das águas próximas ao mesmo aterro. O aterro não pode ser julgado como única fonte de contaminação, pois

o mesmo está rodeado por outros empreendimentos e pastagens, que colaboram para o aumento de coliformes, de nutrientes e da carga orgânica na água.

O depósito de resíduos sólidos de Aurá, em Belém, PA, diariamente recebe cerca de 1.230 toneladas de resíduos, possui características de lixão a céu aberto, visto que os resíduos são depositados diretamente no solo, com ausência de qualquer técnica de controle e proteção ambiental. Somado a isso, estudos demonstram que as condições geológicas do terreno não são próprias para o depósito de resíduos, estando localizado nas cotas topográficas relativamente baixas, o que favorece a infiltração e percolação do líquido gerado pela decomposição dos resíduos (BASTOS, 1991).

Siqueira e Aprile (2013) avaliaram o comportamento geoquímico dos elementos Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Cr e os teores de compostos orgânicos de sedimentos fluviais da bacia do Rio Aurá, localizada em Belém. Verificou-se que o aterro sanitário não controlado, situado próximo à bacia do Rio Aurá é, em parte, responsável pela contaminação desses sedimentos. A perturbação ambiental é consequência das atividades antrópicas locais, que são responsáveis pelo transporte de material clástico, possuindo metais, para o rio. Os resultados mostraram que a contribuição principal de Al e Fe foi provocada pelo aterro sanitário; Cu foi alterado por processo bioinduzido e Cr (III/VI) por processo alóbioquímico; Mn e Ni tiveram como fonte principal os solos adjacentes.

Morales (2002) verificou a influência direta da área de depósito de resíduos de Aurá nas águas superficiais próximas. Foram realizadas quatro campanhas (duas no período de seca e duas no período de chuva), em cinco pontos de amostragem distribuídos nos Igarapés Santana de Aurá, Santo Antônio e Juruca, para observar a variação dos parâmetros traçadores de líquidos percolados da massa de resíduos (pH, alcalinidade, condutividade, amônia, nitrato, sódio, cloreto, magnésio, cálcio e potássio). Os valores mais elevados foram identificados nos pontos mais próximos ao aterro, demonstrando que os líquidos percolados estão impactando estes cursos d'água. Verificou-se também, que o período de seca, durante um ciclo de maré (intervalo de 12 horas), o sistema hídrico local estaria recebendo do depósito de resíduos aproximadamente 417 kg de amônia, 13.115 kg de cloreto e 12.9767 kg de sais.

Sisinno e Moreira (1996) analisaram as concentrações de Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb e Cd dos líquidos percolados do aterro controlado do Morro do Céu, em Niterói,

RJ, e em águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos da área. Outros parâmetros físico-químicos e microbiológicos complementares (pH, DQO, DBO, colimetria, temperatura, condutividade, alcalinidade, dureza, cloreto, sulfato e salinidade) também foram analisados nos cursos d'água localizados próximos ao aterro. Os resultados demonstram que as mais elevadas concentrações dos metais estão presentes no sedimento da vala do aterro e no solo limítrofe do mesmo, apontando propensão à contensão desses elementos nesses locais. Mostrou-se ainda, que a qualidade ambiental das águas subterrâneas e superficiais é ruim, destacando a existência de coliformes. Além disso, as águas superficiais evidenciaram elevada carga de matéria orgânica, expressa pelos valores de DBO e DQO, e concentrações de Mn, Fe, Zn e Ni acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Análises foram realizadas nas estações seca e chuvosa em dois pontos no Rio Juma, próximo ao Lixão do Município de Apuí - AM, um a montante e outro a jusante do mesmo. Foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que fazem parte do Índice de Qualidade de Água - IQA da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, tais como: coliformes termotolerantes, cloreto total, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, nitrato, óleos e graxas, Oxigênio Dissolvido - OD, pH, temperatura e turbidez, sólidos totais e sulfato total. Os resultados apontaram que todos os parâmetros, tanto a montante quanto a jusante, estão dentro dos valores permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005, independentemente da estação climática, exceto o pH, que se mostrou fora da faixa, por causa das características naturais da bacia hidrográfica. A classificação do IQA enquadrou a qualidade das águas como boa, indicando também a não influência do lixão (PEREIRA, 2013).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Em primeiro lugar, uma pesquisa descritiva de natureza exploratória foi feita com o objetivo de aprofundar a revisão bibliográfica a respeito dos conceitos e trabalhos realizados relativos à contaminação de águas superficiais provocada por lixões e aterros; passando, posteriormente, para a pesquisa-ação, na qual se realizaram ensaios laboratoriais de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de corpos de águas próximos ao aterro controlado para avaliação de contaminação dos mesmos por agentes químicos e biológicos e proposta de minimização dos impactos.

A Figura 13 ilustra as etapas da metodologia realizada para a obtenção de constatação de contaminação e proposta de medidas de redução de impactos.

Figura 13 - Etapas da metodologia utilizada neste trabalho



Fonte: Autora (2021).

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram levantadas informações acerca dos serviços de limpeza urbana e do manejo dos resíduos sólidos no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município em que se localiza o aterro controlado em estudo, além de dados gerais, como o tamanho e localização através do *Google Earth* e a forma de operação, *in loco*, por meio de observação e entrevista. Foi também levantada a topografia, a hidrografia, o solo e a vegetação da região.

A topografia foi coletada na base de dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA) de acordo com informação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo Projeto Topodata, disponível no endereço <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>, acessado na data de fevereiro de 2021.

A hidrografia foi obtida juntamente à prefeitura do município em que o aterro se localiza, por consulta à sua base de dados, pela disponibilização da informação na sua Secretaria de Meio Ambiente e Gestão Urbana.

A caracterização do solo foi identificada utilizando-se a base de dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA) de acordo com informação da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e Universidade Federal de Viçosa (UFV), disponível no endereço <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>, acessado na data de fevereiro de 2021.

A caracterização da vegetação foi identificada utilizando-se a base de dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), de acordo com informações do Mapeamento Florestal do Instituto Estadual de Florestas (IEF), e do Mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) dos limites dos biomas, disponíveis no endereço <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>, acessados na data de fevereiro de 2021.

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO

A partir dos resultados da hidrografia, da distância, da diferença de cota altimétrica e da topografia entre o aterro controlado e os corpos de água, foram determinados 5 locais de coleta de amostras de água, sendo 4 em cotas inferiores ao do aterro e 1 acima, servido de ponto controle/branco. Os pontos 1, 2 e 3 foram eleitos

pelo fato de serem os locais de maior proximidade com o aterro e de melhor acessibilidade. Já o ponto 4 foi escolhido por ser o local de encontro do curso de água que se forma a partir do ponto 3, que a nascente, com o Rio Santo Antônio.

Para calcular a distância e a diferença de cota altimétrica entre o aterro controlado e os corpos d'água próximos, foram coletados pontos via *Global Positioning System* (GPS) Garmin, Modelo GPSMAP 64s, com precisão de dados de 4 metros em céu com poucas nuvens (Figura 14).

Figura 14 - GPS Garmin, Modelo GPSMAP 64s



Fonte: Autora (2021).

#### 4.3 COLETA E ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO, PARA DETERMINAÇÃO DE SUA INFLUÊNCIA NA CONTAMINAÇÃO DOS MESMOS

As amostras foram coletadas em duas campanhas, nos dias 05 de novembro de 2019 (estação seca) e 09 de março de 2020 (estação chuvosa), Figura 15, em pontos determinados de acordo com as informações coletadas na caracterização da área.

Figura 15 - À esquerda, foto da coleta de amostras de água na estação seca (novembro de 2019) e à direita, na estação chuvosa (março de 2020)



Fonte: Autora (2021).

Os parâmetros OD, DBO, DQO e coliformes termotolerantes foram executados pela “Hidrocepe Serviços de Qualidade” em Belo Horizonte, que forneceu os frascos para cada ponto e parâmetro já preparados e etiquetados. Foram utilizadas garrafas plásticas de 300 mL para OD, garrafas de vidro, cor âmbar, de 300 mL para DBO e DQO e pote de plástico de 100 mL, com conservante Tiosulfato de sódio, para coliformes termotolerantes. O transporte dos frascos foi realizado dentro de caixa térmica com gelo e entregue ao laboratório no mesmo dia da coleta.

Já os parâmetros alcalinidade, nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), sódio (Na), cloreto, sulfato, magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P), óleos e graxas, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, potencial hidrogeniônico (pH), dureza, condutividade elétrica, cromo (Cr), manganês (Mn), ferro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), foram analisados pelo “Laboratório de Recursos Hídricos” da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP. Para o armazenamento, utilizou-se duas garrafas PET de 2 L, higienizadas com água mineral, para cada ponto, servindo para a análise de todos os parâmetros. O transporte foi realizado em caixas em temperatura ambiente e entregue ao laboratório no dia posterior à coleta.

Todos os parâmetros foram analisados de acordo com as metodologias recomendadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017).

Posteriormente, os resultados das análises físico-químicas e microbiológica foram comparados com os padrões da legislação vigente para o canal principal, o Rio Santo Antônio, e com o ponto controle. Dessa forma, foi verificado se os cursos d’água

estão dentro dos parâmetros da legislação e se estão contaminados, quando comparados com o ponto controle.

#### 4.4 PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS A SEREM EXECUTADAS NO ENCERRAMENTO DO ATERRO CONTROLADO, EM ESTUDO, DE MANEIRA A MINIMIZAR O POTENCIAL DE CONTAMINAÇÕES FUTURAS AOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

A partir da determinação da influência do aterro controlado sobre os corpos de água próximos, foram propostas medidas corretivas que servirão para subsidiar as ações político-administrativas municipais no aterro controlado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na sequência, é apresentado descritivo da área do aterro controlado situado na Região Central do Estado de Minas Gerais e objeto desse estudo.

#### 5.1.1 Aterro Controlado em Estudo

De acordo com a prefeitura (MINAS GERAIS, 2018), o aterro controlado está localizado na zona rural, à margem direita da Rodovia Estadual MG-010, que liga ao Município de Belo Horizonte, a 4,0 km da zona urbana da sede do seu município (Figura 16). O aterro controlado, coordenadas S 19°15'34.62"; W 43°25'15.78, ocupa uma área total de 2,26 hectares, onde 0,8 hectares possuem resíduos dispostos, sendo a mesma de propriedade particular.

Figura 16 - Localização do aterro controlado e da zona urbana da sede do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Google Earth (2021), adaptado pela autora.

Na entrada do aterro existe uma guarita onde é realizado o controle de entrada e saída dos veículos do serviço de limpeza urbana. A área do aterro é totalmente cercada e o controle de acesso de pessoas é existente, porém deficitário. Há relato de catadores na área após o encerramento das atividades de operação diária, cuja finalidade é garimpar os resíduos dispostos e não cobertos. As vias de tráfego interno não são pavimentadas, mas vem permitindo acesso à área de intervenção.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento, a disposição de resíduos ocorre nessa área desde o ano de 2005. Atualmente, a operação e manutenção do aterro controlado do município são realizadas por empresa terceirizada.

É importante ressaltar que o vazadouro está em situação de precariedade quanto à adoção de medidas de recuperação e manutenção do maciço de resíduos, observando-se a ausência de projeto técnico para ser seguido e/ou que permita um melhor acompanhamento da operação do sistema, o que dificulta a adoção de critérios técnicos para a disposição de resíduos. Além disso, ocorre a falta de drenagem e tratamento de líquidos percolados, drenagem de gases, drenagem de águas pluviais, cobertura final adequada de parte da massa de resíduos e cobertura vegetal.

Atualmente, não há nenhum tipo de tratamento para os líquidos percolados que migram dessa área, juntamente com as águas pluviais, que escoam desse maciço e fluem diretamente para as áreas vizinhas, provocando, dessa forma, sua contaminação e assoreamento.

A empresa terceirizada realiza a cobertura dos resíduos descartados no aterro três vezes por semana (6,25 toneladas/dia) com um trator de esteiras. Solos extraídos na própria área do aterro ou os resíduos de construção civil coletados no município são utilizados para cobertura dos resíduos. Entretanto, esta atividade não tem sido realizada com frequência adequada, fazendo com que os resíduos fiquem expostos, exalando odores e atraindo vetores, além de proporcionar o espalhamento de resíduos pelo vento. Além disso, em algumas áreas, a cobertura final no maciço foi executada de forma inadequada - sem um projeto técnico, ocasionando erosões que acabam contribuindo para que os resíduos fiquem expostos e facilitem a migração de líquidos. Isso ocorre principalmente devido à falta de vegetação sobre o maciço.

Vale ressaltar que não foi executado um sistema de impermeabilização de base que garantisse a estanqueidade do aterro e que impedisse a infiltração de líquidos percolados formados pela decomposição dos resíduos no solo, no início da utilização

da área. Essa falta de impermeabilização pode contribuir para a contaminação das águas subterrâneas.

Logo, a condição precária do aterro controlado do município, gera um ambiente propício à proliferação de vetores e contaminação do ar, solo e água, colocando em risco o meio ambiente e a saúde da população residente dos arredores.

#### 5.1.2 Estimativa da Quantidade de Resíduos Dispostos no Aterro Controlado

De acordo com dados do IBGE (2017), o município, onde se situa o aterro em estudo, possuía uma população estimada de 18.126 habitantes. Com base nisso, a prefeitura (MINAS GERAIS, 2018) realizou uma estimativa da quantidade de resíduos dispostos no aterro controlado do município entre 2005 e 2017, considerando a população urbana existente (Tabela 2). O volume total estimado é de 106.585 metros cúbicos de resíduos e de terra.

Para cálculo da estimativa de resíduos, foram consideradas as taxas de crescimento da população, a estimativa da população flutuante (9.000 habitantes), além dos dados dos Censos Demográficos realizados em 1980, 1991, 2000 e 2008, pelo IBGE.

Como não há registros de taxas de geração de RSU em anos anteriores, foi definida a taxa per capita média de 500 g/hab x d.

A densidade de resíduos já dispostos nos aterros de RSU foi estimada em 600 kg/m<sup>3</sup>, a qual é compatível com a baixa compactação dos resíduos depositados de forma não controlada por diversos anos.

Tabela 2 - Estimativa da quantidade de RSU dispostos no aterro controlado

Ano	População Urbana (hab.)	Geração Diária (t/d)	Volume Total (m3)
2005	27.140	13,57	8.255
2006	27.074	13,54	8.235
2007	27.017	13,51	8.218
2008	26.971	13,49	8.204
2009	26.935	13,47	8.193
2010	26.908	13,45	8.185
2011	26.891	13,45	8.179
2012	26.882	13,44	8.177
2013	26.883	13,44	8.177
2014	26.893	13,45	8.180
2015	26.911	13,46	8.186
2016	26.938	13,47	8.194
2017	26.973	13,49	8.204
<b>Volume Total (m3)</b>			<b>106.585</b>

- 1) Taxa de geração de RSU = 500 g/hab x d
- 2) Densidade = 600 kg/m<sup>3</sup>
- 3) Volume de terra = 15%

Fonte: Minas Gerais (2018).

### 5.1.3 Serviços de Limpeza Pública, Coleta, Transporte e Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com a prefeitura (MINAS GERAIS, 2017), no município, onde se situa o aterro em estudo, e arredores, são realizados serviços de limpeza pública, coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Estes serviços são de responsabilidade da Secretaria de Meio ambiente e Gestão Urbana, a qual envia os resíduos ao aterro municipal, exceto os recolhidos pela coleta seletiva, que são enviados à UTC.

Segundo o Diretor do Departamento de Limpeza Pública da prefeitura, em 2020 e primeiro semestre de 2021, cerca de 10,7% do resíduo gerados foram comercializados pela associação comunitária de catadores, considerando a média de produção de resíduos apresentada no PMSB de 2017 do município. Esse percentual corresponde a cerca de 32,15 toneladas de resíduos triados e vendidos por mês que deixam de ir ao aterro controlado.

Foi observado que a taxa de crescimento da população é inferior à taxa de acréscimo na geração de RSU, em todas as localidades incluídas nos estudos, como a sede, povoados e distritos.

A coleta pública dos RSU é realizada em toda a área urbana do município, inclusive aonde o caminhão de coleta não tem acesso. Nestes casos, o recolhimento

dos RSU é realizado pelos garis, que os deixam em pontos de rota dos caminhões, segundo informações prestadas pela Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico.

Também de acordo com esta Secretaria, a Empresa CONSERBRAS é prestadora de serviços desde 2014 e realiza a coleta de RSU.

A Tabela 3 apresenta o quadro de frequência e horários do serviço de coleta convencional do município, subdivididos por roteiros. Estes contemplam os domicílios e área comercial da sede, os domicílios de distritos mais próximos e mais distantes da sede.

Tabela 3 - Frequência e horários de serviço de coleta convencional

Roteiro	Quinzenal	1 x semana	3 x semana	Diária diurna	Início	Fim
Domicílios – Sede			x		7h	Entre 14 e 16 h
Área comercial - Sede				x	7h	Entre 14 e 16 h
Domicílios – Distritos (Córregos, Itacolomi, Ouro Fino, Sapo, Turco, Tabuleiro, Tapera, Três Barras e Turco)		x			7h	-
Domicílios – Distritos (Baú, Brejaúbas, Candeias, Capitão Felizardo, Costa Sena, Diamante, Meloso e Santo Antônio do Cruzeiro)	x				7h	-

Fonte: Minas Gerais (2017).

#### 5.1.4 Coleta Seletiva

Toda a zona urbana do município possui coleta seletiva realizada pela associação de catadores local, contratada pela prefeitura. A equipe trabalha uniformizada, utiliza equipamentos de proteção individual (EPI) e realiza a coleta seletiva semanalmente nos domicílios, e conforme demanda nos comércios.

### 5.1.5 Varrição

Apenas nas vias públicas da área central do município há coletores de RSU.

A varrição é subdividida entre terceirizados e servidores públicos. Os primeiros são responsáveis pela varrição da sede urbana, e em alguns casos, também dos distritos. Já os servidores públicos, realizam a limpeza das praças e alguns distritos.

Diversos serviços do município são realizados sob demanda, dentre eles é possível citar a remoção de lixo, limpeza das lixeiras, bocas de lobo e bueiros, capinação e pintura de guias, retirada de entulhos e varrição de espaços públicos.

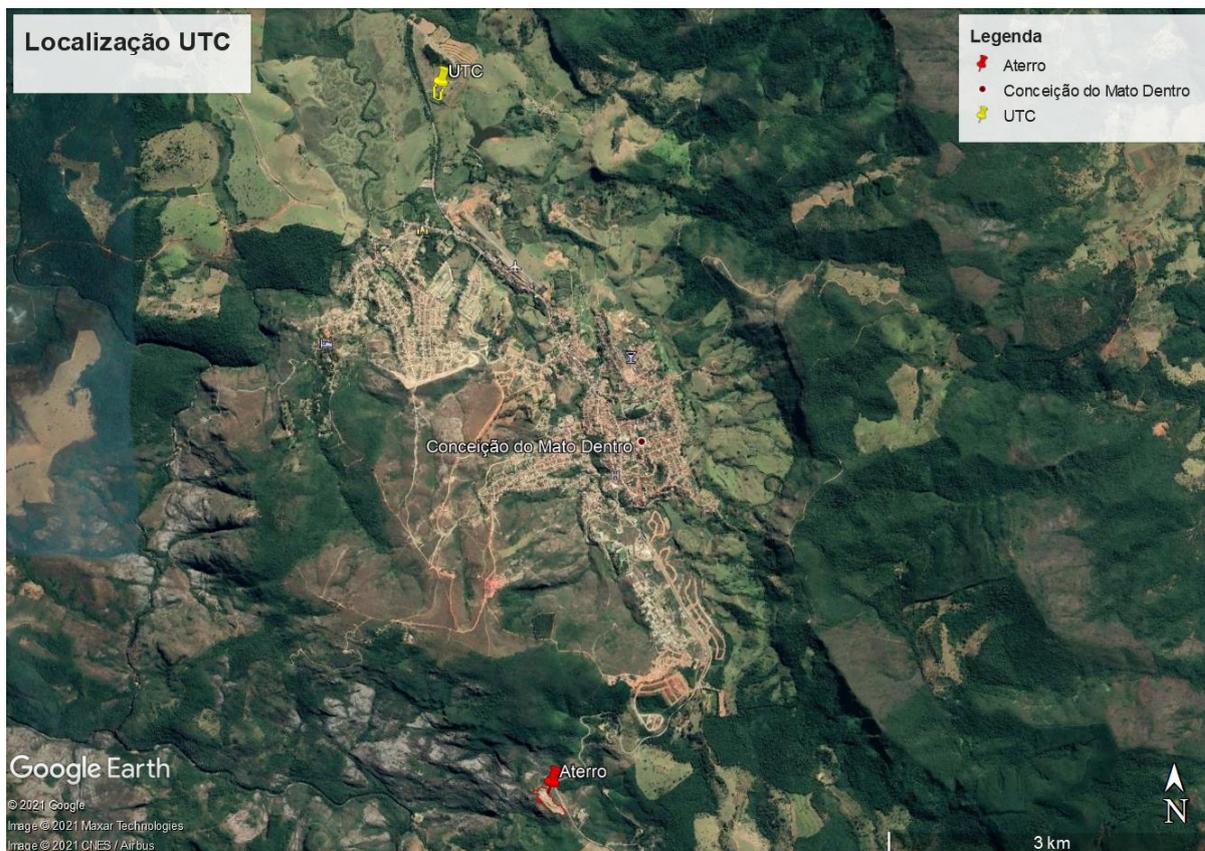
### 5.1.6 Capina/Poda

No município, as capinas são manuais e mecânicas, com utilização de roçadeiras, e são realizadas sob demanda.

### 5.1.7 Local de Destinação Final dos Resíduos Públicos, Comerciais e Domiciliares Atualmente

Perto da sede urbana, há uma UTC (Figura 17) que recebe, desde fevereiro de 2014, os resíduos recicláveis tanto de estabelecimentos públicos e comerciais, quanto de domicílios da cidade. Sua área construída possui 470,34 m<sup>2</sup>. O local, pertencente à União, ocupa 0,09 hectare. Está localizada nas coordenadas S 19° 00' 18.30" W 43° 26' 28.62", a 3,0 km da sede, pela rodovia Estadual MG 10, em direção a Serro. O local, identificado por uma placa, encontra-se cercado e com um portão trancado. A UTC é composta por uma administração, uma plataforma de descarga dos RSU, um galpão que possui mesa de triagem e um pátio de compostagem.

Figura 17 - Localização da UTC e do aterro controlado no município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Google Earth (2021), adaptado pela autora.

Em outubro de 2013, a prefeitura do município, em parceria com uma empresa particular, criou a associação dos catadores de materiais recicláveis, por meio de uma condicionante aplicada à mesma. Em dezembro de 2015, a associação possuía seis associados, recebedores de toda a renda gerada, e dois ajudantes, conforme a coordenadora da coleta seletiva.

O objetivo da associação é coletar materiais recicláveis em cada domicílio e comércio de alguns bairros da cidade. Esses materiais são enviados para a UTC. Antes de serem transportados para uma recicladora parceira em Belo Horizonte, a qual é parceira da associação, o material passa por uma triagem e é enfardado (Figuras 18 à 28).

Figura 18 - Placa de identificação da UTC no município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 19 - Entrada da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 20 - Parte do local de triagem da UTC no município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 21 - Local em que ocorre a descarga dos RSU na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 22 - Administração, refeitório e sanitários da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 23 - Mesa de segregação dos resíduos na área de triagem da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 24 - Armazenamento em baias dos materiais recicláveis da UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 25 - Materiais recicláveis enfardados e prontos para comercialização na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 26 - Pátio de compostagem sem pilha de composto orgânico e, ao fundo, pneus com risco de acúmulo de água e surgimento de criadouro de vetores na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 27 - Vidros armazenados em caixas de papelão e caixas de madeira na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 28 - Materiais segregados em embalagens e preparados para serem enfardados na UTC do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015)

Os resíduos da UTC, como papel higiênico, absorventes, fraldas, bem como os resíduos da coleta tradicional (Conserbras), são destinados ao aterro controlado (Figuras 29 à 33), o qual é área particular arrendada e apresenta 0,80 hectare. No local, há uma placa que o identifica e é feito o controle de veículos e pessoas. O aterro se localiza a 4,0 km do centro da cidade pela Rodovia Estadual MG 10, em direção à capital mineira. As coordenadas geográficas são: Local S 19° 15' 34.62" W 43° 25' 15.78".

Figura 29 - Placa de entrada do aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 30 - Vista do aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 31 - Equipamentos utilizados para aterrar resíduos no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 32 - Resíduos de construção e desaterro (RCD) no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

Figura 33 - Eliminação de carcaças animais em vala construída no aterro controlado do município situado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Funec (2015).

O aterro controlado do município é mantido por empresa terceirizada, que realiza a cobertura dos resíduos três vezes por semana. Apenas a vala em que são eliminadas carcaças animais é coberta todos os dias. Por volta de 14 toneladas de rejeitos são descartados no local diariamente e cobertos por meio de equipamentos como retroescavadeira, trator de esteiras e caminhão basculante.

Utilizam-se argila do aterro e resíduos da construção e demolição do município na cobertura dos rejeitos. Dentre os rejeitos destinados ao aterro, pode ser verificada uma parcela considerável de orgânicos e recicláveis – o que se contrapõe ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), pois, desde 2014, a coleta seletiva e a UTC são operadas no município. A compostagem não é realizada no município.

#### 5.1.8 Saneamento dos Locais de Disposição Final

O sistema atual de deposição de RSU no município é inapropriado, uma vez que não apresenta licença ambiental e, apesar de ser operado por meio de medidas que são utilizadas em aterros controlados (área cercada, entrada controlada, recobrimento frequente), o mínimo distanciamento em relação aos corpos de água e à rodovia não é respeitado, segundo a Deliberação Normativa nº 118 de 2008 (MINAS GERAIS, 2008b), de modo que o local se assemelha mais a um “lixão”.

Não existe informação precisa a respeito da forma de operação das áreas antigas. Crê-se que os resíduos eram dispostos à céu aberto, não havendo equipamento para compactação e/ou recobrimento.

De acordo com informações coletadas na Secretaria de Meio Ambiente, nas áreas antigas, da mesma forma que na atual, não foi instalado sistema de drenagem de líquidos percolados e de gases e não foi realizada compactação ou impermeabilização do terreno. Em razão dessas irregularidades, os sistemas antigos e atual de disposição de RSU do município podem ser considerados inapropriados.

#### 5.1.9 Resíduos de Serviços de Saúde (RSS)

Os serviços de saúde no município são limitados, de modo que são menores as quantidades de resíduos produzidos por pessoa. Aqueles que necessitam de tratamento mais complexo, cuja produção de resíduos é maior, acabam recebendo-o em locais com maior estrutura.

Os RSS provenientes do município são coletados e encaminhados de acordo com a Resolução nº 358/2005 e com a DN Copam nº 171/2011 (BRASIL, 2005b; 2011). Sua coleta e incineração são realizadas por prestadoras de serviços públicos de saúde. A coleta gira em torno de 500 kg por mês.

#### 5.1.10 Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Os RCD públicos ou particulares coletados pela terceirizada no município são encaminhados para o aeroporto ou para outros locais que são utilizados de forma irregular. Uma parcela desses resíduos é usada para preencher erosões de estradas vicinais. Até o momento, não há no município uma política para Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil, conforme recomenda a PNRS e a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002).

#### 5.1.11 Resíduos Industriais

É pequena a quantidade e a diversidade de resíduos industriais gerados no município, uma vez que há pouca variedade de atividades industriais no município. Contudo, deve haver sempre a obrigatoriedade de serem gerenciados, transportados, tratados e encaminhados a seu destino final por seus geradores.

Não há depósito de resíduos industriais próprio ou de municípios próximos. Contudo, são gerados no município resíduos de indústrias de alimentos, bem como de indústrias de abates de animais e processamento de carnes. O serviço público de limpeza recolhe esses resíduos, os quais são considerados erroneamente como não perigosos (devido à sua constituição e volume), assim como os resíduos domiciliares, oferecendo risco ambiental e biológico, com produção de contaminantes relacionados aos processos de decomposição e liberação de maus odores.

Mesmo sem serem solicitados pela prefeitura, os geradores desses resíduos possuem a obrigação de dar o destino apropriado a eles. Deve ocorrer nesse caso a submissão, apresentação e aprovação de um Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos (PGRS), que leve à responsabilização administrativa, civil e penal dos geradores. Nesse caso, o transportador e o destinatário também podem responder por eles.

#### 5.1.12 Área Ocupada e Operação

De acordo com a prefeitura (MINAS GERAIS, 2018), o aterro controlado do município ocupava uma área de 2,26 hectares, no entanto, atualmente, a área ampliou

para cerca de 2,89 hectares, conforme medição em polígono traçado no Google Earth (Figura 34).

Figura 34 - Poligonal do aterro controlado do município localizado na Região Central de Minas Gerais



Fonte: Google Earth (2021), adaptado pela autora.

A área do aterro é totalmente cercada e possui guarita com controle de entrada de veículos de serviço de limpeza urbana e de comerciantes (Figura 35).

Figura 35 - Guarita de controle de acesso e chegada de caminhão com resíduos no aterro controlado em estudo



Fonte: Autora (2021).

Conforme informações obtidas junto a um profissional do aterro, afirmou-se que a área é destino de resíduos sólidos a mais de 35 anos, começando como lixão, passando a aterro controlado, voltando a ser lixão, e há cerca de 7 anos, é aterro novamente. Com relação ao seu trabalho, o mesmo afirmou que, assim que o resíduo chega no aterro, ele faz a acomodação do que o caminhão despeja com a pá carregadeira, passa o compactador e se houver solo disponível, faz a forração, se não, fica à céu aberto. O solo utilizado é proveniente de desaterros realizados pela empresa de terraplanagem e construção, licitada para operar o aterro. Atualmente, chega ao aterro resíduos domésticos, de limpeza pública, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da construção civil e rejeitos da associação comunitária de catadores do município (conforme entrevista com funcionário do aterro, realizada em 11/09/2019).

A Figura 36 demonstra o local em que os resíduos domiciliares são descartados. Na data da visita, não havia solo disponível para a cobertura dos mesmos, situação propícia para a proliferação de vetores transmissores de doenças.

Figura 36 - Local de descarte de resíduos domiciliares no aterro controlado em estudo – Ausência de material de forração



Fonte: Autora (2021).

Conforme o Art. 4º da Resolução Conama 307/2002 (BRASIL,2002), os resíduos da construção civil não podem ser dispostos em aterros de resíduos sólidos, no entanto, no município em estudo, não há aterro de resíduos da construção civil e o mesmo acaba sendo destinado no aterro controlado, causando a redução de sua vida útil (Figura 37).

Figura 37 - Resíduos de construção civil no aterro controlado em estudo e momento de descarte desse tipo de resíduo e pá carregadora para acomodação do mesmo



Fonte: Autora (2021).

O município não possui um aterro industrial e os resíduos de abatedouro acabam indo para o aterro controlado. As carcaças animais vão para uma vala, que

no dia da visita, estava quase no limite de sua capacidade. Além disso, a falta de solo de cobertura, como no dia da visita, atrai diversos animais e agrava o problema do mau odor (Figura 38).

Figura 38 - Local de descarte de carcaças animais no aterro controlado em estudo – Material de forração insuficiente



Fonte: Autora (2021).

Foi verificado também em campo, que as águas pluviais escoam superficialmente por valas escavadas sem nenhum tipo de alvenaria e destino seguro, provocando o carreamento de substâncias nocivas ao meio ambiente (Figura 39). As setas azuis indicam o sentido do fluxo das águas.

Figura 39 - Escoamento direto no solo de água pluvial do aterro controlado em estudo



Fonte: Autora (2021).

Também foi verificada a presença de líquido malcheiroso percolado e extravasando na vala de drenagem de água pluvial da Rodovia MG -10, próxima ao aterro (Figuras 40 e 41). Vale ressaltar que no dia anterior havia chovido com significativa intensidade e de forma moderada no dia da visita.

Figura 40 - Líquidos percolados do aterro extravasando na canaleta de drenagem de água pluvial da Rodovia MG -10, próximo ao aterro controlado em estudo



Fonte: Autora (2021).

Figura 41 - Localização da captura das imagens onde havia extravasamento de líquidos percolados do aterro em estudo

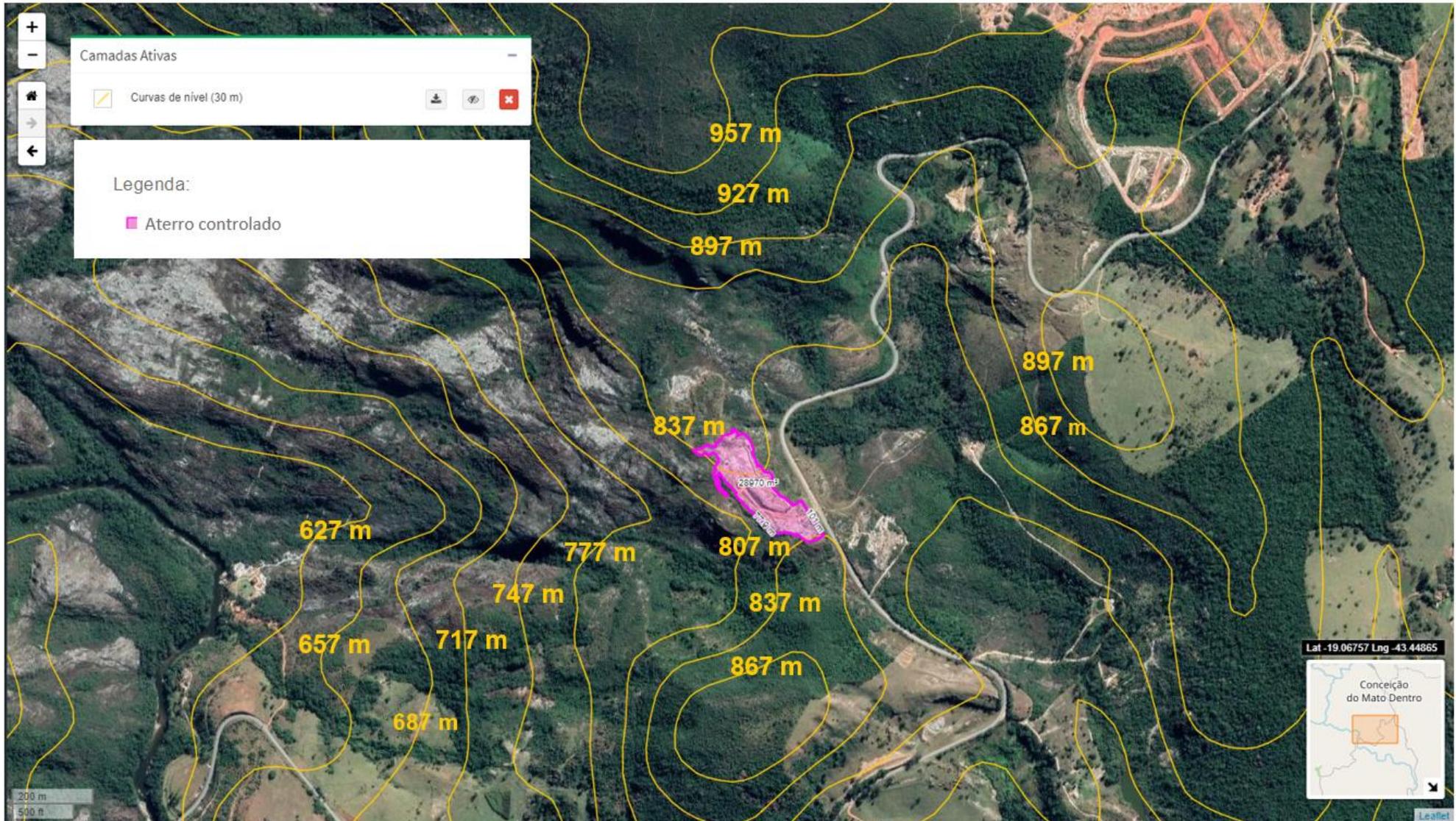


Fonte: Google Earth (2021), adaptado pela autora.

### 5.1.13 Topografia e Hidrografia

Considerando que o transporte de líquidos percolados gerados da decomposição dos resíduos depende das condições próprias de cada aterro, principalmente da geologia, da topografia e do regime e da intensidade das chuvas (SEGATO; SILVA, 2000) e visto que, conforme Tucci e Clarke (1997), com o aumento da declividade, é também observada maior drenagem de água. Dessa forma, verifica-se pela topografia da região, que o aterro se localiza em uma cota mais elevada que os corpos de água próximos, o que aumenta o potencial de contaminação dos mesmos por escoamento superficial, pois se localizam em fundos de vales (Figura 42).

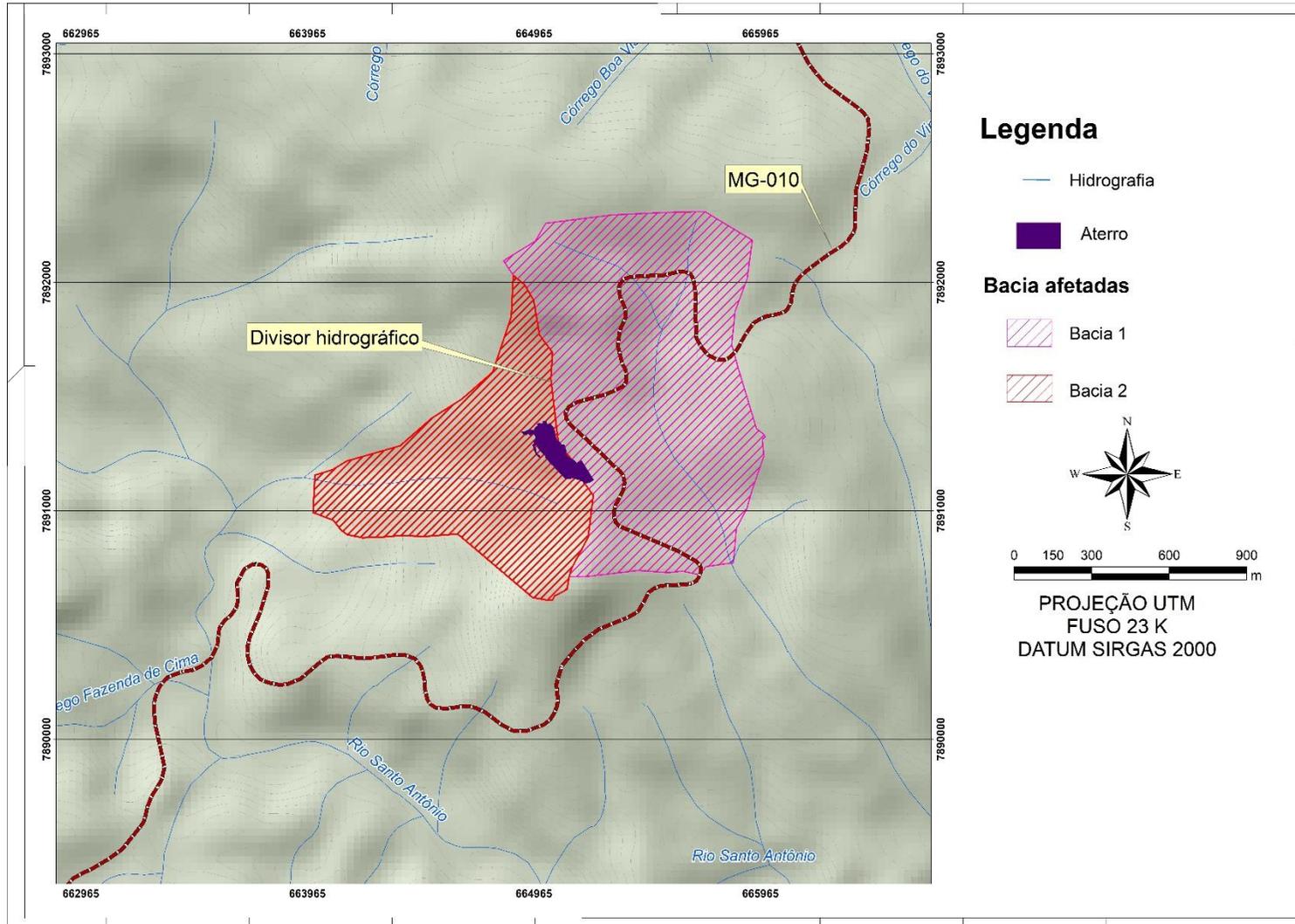
Figura 42 - Topografia da região do aterro controlado em estudo



Fonte: Base de dados do IDE-SISEMA – Curva de nível a cada 30 m de diferença de cota altimétrica - INPE/TOPODATA (2021), adaptado pela autora.

A Figura 43 indica a hidrografia e demonstra que o aterro está sobre a linha divisória de duas microbacias hidrográficas.

Figura 43 - Hidrografia e bacias de drenagem do aterro em estudo



Fonte: Ferreira (2021).

#### 5.1.14 Solo

Sabe-se que a quantidade de líquidos percolados gerado é específica do local e tem relação com as condições climáticas e com a disponibilidade de água, além das características da superfície do aterro, dos resíduos e do solo subjacente (EL-FADEL; FINDIKAKIS; LECKIE, 1997).

O solo e suas propriedades interferem na transferência de nutrientes para o ecossistema aquático. O escoamento superficial é um processo definido pela água que escoar na superfície de um terreno para os cursos hídricos que ocorre quando o volume de precipitação é maior do que a capacidade de infiltração do solo. Isso acarreta o carreamento dos nutrientes do solo para os recursos hídricos, sendo esse processo importante para a vida aquática bem como para a qualidade da água. Também é importante ressaltar que mudanças antropológicas frente ao ecossistema alteram parte do ciclo hidrológico, a quantidade e qualidade da água (SANTOS; FIGUEIREDO, 2009).

Quando os líquidos percolados da massa de resíduos infiltram no solo, ocorre o transporte de compostos tanto biológicos quanto químicos que pode poluir os mananciais hídricos. Sendo assim, quando os resíduos sólidos são dispostos de maneira inadequada acarreta em alterações da paisagem da natureza local bem como na alteração dos mecanismos do ecossistema (CARVALHO, 2001).

Conforme o mapeamento de solos realizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e Universidade Federal de Viçosa (UFV), o solo característico da região de aterro controlado do município é do tipo Neossolo Litólico Distrófico (Figura 44).

Figura 44 - Solo do tipo Neossolo Litólico Distrófico na região do aterro controlado em estudo



Fonte: Adaptado de base de dados do IDE-SISEMA (Mapeamento de solos - FEAM & UFV). A cor cinza indica o solo do tipo Neossolo Litólico Distrófico (2021), adaptado pela autora.

De acordo com a Embrapa (2021) e FAPUR (2006), o Neossolo Litólico é um tipo de solo relacionado a relevos mais declivosos, oriundos de modificações de rochas “*in situ*”, com pedregosidade e rochosidade na superfície, denominados solos rasos, em que a soma dos horizontes sobre a rocha não é superior a 50 cm. O horizonte A assente, é disposto diretamente sobre a rocha matriz ou também acima do material de alteração da mesma. Possui textura de arenosa e média. Esses fatores limitam o crescimento radicular e aumentam o risco de erosão, principalmente ao se retirar a vegetação.

Em visita à região do aterro controlado, observou-se que o solo é raso e com presença de rochas em sua superfície (Figura 45).

Figura 45 - Solo raso e com rocha exposta na superfície na região do aterro em estudo



Fonte: Autora (2021).

Visto que o solo da região do aterro se trata de um solo de forte erodibilidade, cabe ressaltar que a erosão hídrica é causada pela quebra dos agregados, gerando o transporte partículas e nutrientes associados com consequente deposição no leito dos cursos hídricos. Isso promove a aceleração de descarga de nutrientes em recursos hídricos. Essas partículas que se soltam, salpicam com as gotas de chuva e voltam para a superfície, ajudando a selar os poros, o que diminui a infiltração e aumenta assim o escoamento superficial (WADT, 2007), não somente da água da chuva, mas também dos líquidos percolados produzido no aterro até os corpos hídricos.

Considerando ainda que o processo de escoamento superficial ocorre somente quando o volume de chuva excede a capacidade de infiltração do solo (SANTOS; FIGUEIREDO, 2009) e visto que o solo do aterro controlado em estudo é caracterizado como raso, é de se esperar que durante precipitações mais prolongadas e mais intensas na região, o escoamento superficial predomine em relação à infiltração, pois o líquido percola através da porosidade existente e encontra uma camada impermeável do solo, formada por rochas.

Atividades iniciadas na década de 40 em aterros sanitários situados sobre areias inconsolidadas sugeriram uma extensão, por centenas de metros, da pluma de contaminação (MACFARLANE, 1983). Isso ocorre em condições propícias à propagação, como por exemplo: solos permeáveis e com pouca espessura e ainda, com a presença de gradiente topográfico que acarreta fluxo maior dos poluentes quando em contato com a área saturada (LIMA, 2003), como é o caso da região do aterro controlado alvo dessa pesquisa.

Os poluentes possuem caráter acumulativo no solo. A dispersão dos contaminantes pelo solo para as águas subterrâneas e superficiais é uma ameaça

para a qualidade dos corpos hídricos e sua biota associada, além de apresentar riscos para a saúde das pessoas que vivem em contato direto com essas águas contaminadas. Muitos metais, como cádmio, cobre, chumbo, selênio e zinco, presentes em locais de disposição inadequada de resíduos sólidos podem migrar para águas superficiais e subterrâneas pelos líquidos percolados gerados pela decomposição dos resíduos (SANCHEZ, 2001).

A atenuação de poluentes pelo solo pode ser um processo químico, físico e/ou biológico, caracterizada pela diminuição, seja permanente ou passageira no que se refere à concentração desses contaminantes provenientes dos resíduos aterrados durante uma determinada distância percorrida ou tempo (QASIM; CHIANG, 1994).

Ao percolar pelo solo, os compostos químicos do líquido percolado sofrem diversas reações de destruição e conversão, sendo que cada tipo de solo tem uma capacidade de atenuar esse líquido, e para alguns tipos de substâncias químicas, essa atenuação é limitada. Se passado do limite, os compostos químicos deixam de ser afetados pelo solo. Os solos arenosos por exemplo são melhores em remover a matéria orgânica e os argilosos são mais capazes de remover metais (O'LEARY; WALSH, 1997). Além do mais, a matéria orgânica contida no solo auxilia na retenção de diversos contaminantes, como os metais potencialmente tóxicos, podendo ser imobilizados. (NYSTRAND *et al.*, 2016). Conforme Baird (2002), íons metálicos possuem significativa afinidade com os grupos -COOH dos ácidos fúlvicos e húmicos existente na matéria orgânica.

O solo da região do aterro controlado em estudo tem textura mais arenosa, o que é de se esperar que o mesmo não seja um bom retentor de metais.

Os contaminantes que vêm dos resíduos têm a capacidade de infiltrar no solo e podem assim interferir nas suas propriedades fundamentais, como a permeabilidade, pela dissolução dos minerais do solo, mudanças na estrutura do mesmo e precipitação (YONG *et al.*, 2001). Dessa forma, Almeida (2009) sugere que, dependendo da capacidade do solo como atenuante, os processos construtivos dos selos de proteção das áreas de disposição de resíduos serão definidos.

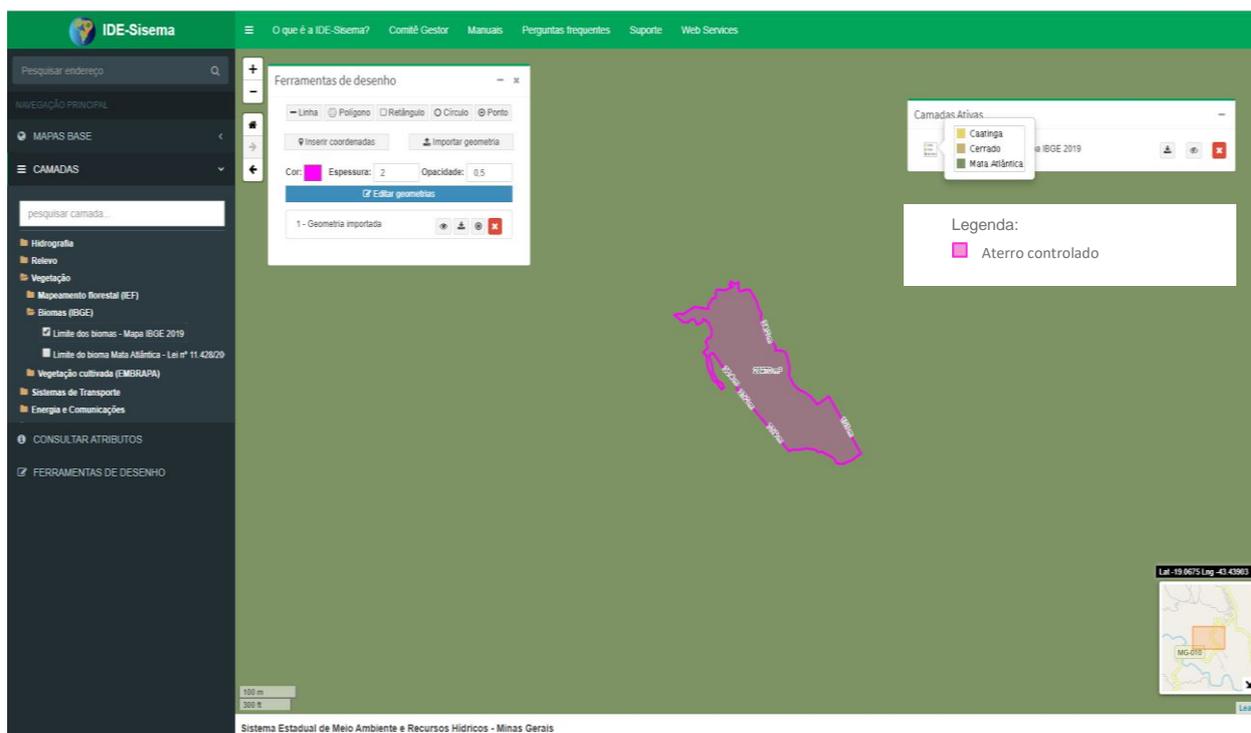
As condições ambientais, as características do contaminante e o meio poroso e são fatores que interferem no transporte de massa pelo solo. Quanto à substância contaminante, os fatores interferentes são a densidade, a polaridade, a solubilidade, o potencial iônico, a concentração, a co-solvência, a volatilidade, a pressão de vapor, o pH, a DBO, a DQO, a toxidez e o teor e finura de sólidos em suspensão. Com relação

ao meio poroso onde ocorrerá o transporte, os fatores que influenciam são a distribuição granulométrica, o tipo e o teor da matéria orgânica, o teor e a distribuição de finos, e a mineralogia, a distribuição de finos, e o grau de saturação e a capacidade de troca catiônica. (MONCADA, 2004).

### 5.1.15 Vegetação

De acordo com o banco de dados cartográficos, o Mapa de Limite de Biomas IBGE-2019 (2021) indica que o local em questão está caracterizado como Bioma Mata Atlântica (Figura 46).

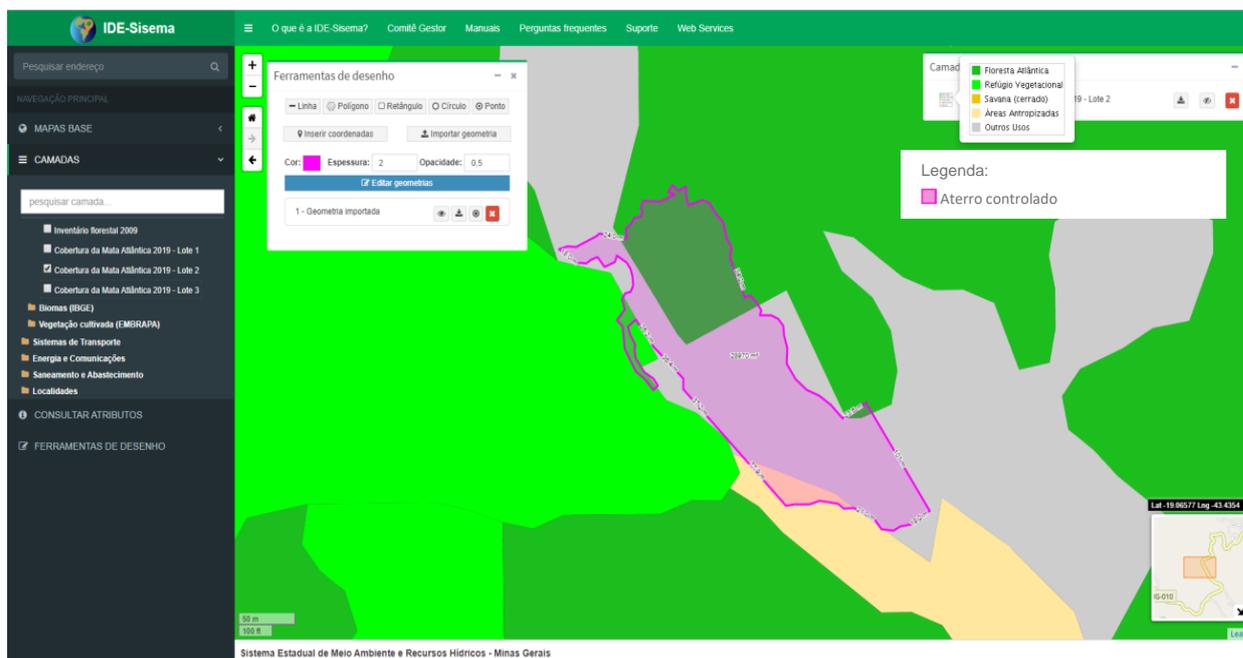
Figura 46 - Mapa do tipo de bioma existente na área onde está situado o aterro em estudo



Fonte: Base de dados do IDE-SISEMA – Limite dos biomas - MAPA IBGE 2019 (2021), adaptado pela autora.

De acordo com informações do Mapeamento Florestal do Instituto Estadual de Florestas (IEF), o aterro controlado está cercado parte por floresta atlântica e parte por refúgio vegetacional, fitofisionomia menos densa que florestas (Figuras 47 e 48).

Figura 47 - Mapa do tipo de vegetação existente na área onde está situado o aterro em estudo



Fonte: Base de dados do IDE-SISEMA – Mapeamento Florestal - IEF. Cobertura da Mata Atlântica 2019 (2021), adaptado pela autora.

A Figura 48 indica a vegetação à sudoeste ao aterro, caracterizada como refúgio vegetacional pelo Mapeamento Florestal – IEF para a cobertura da Mata Atlântica (2021) com presença de arbustos, árvores esparsas e mata ciliar preservada. Esta última, também chamada de vegetação ripária ou mata de galeria é a vegetação presente nas margens dos cursos de água, e quando retirada, desprotege os mesmos contra a contaminação, sendo assim, são consideradas muito importantes para o bom funcionamento e conservação dos ecossistemas aquáticos (SANTOS; FIGUEIREDO, 2009). Dessa forma, os cursos de água a serem analisados contam com essa grande vantagem.

Figura 48 - Vegetação do entorno do aterro controlado em estudo



Fonte: Autora (2021).

A infiltração, o escoamento superficial e a evapotranspiração são três vias distintas que a água precipitada sobre a superfície pode percorrer. O escoamento superficial é responsável pela formação de rios, lagos e córregos. A existência ou ausência de cobertura vegetal, influencia consideravelmente na relação quantitativa entre a infiltração e o escoamento superficial. Quando ocorre a remoção da cobertura do solo, sua capacidade de infiltração é reduzida (DERISIO, 2007; SANTOS; FIGUEIREDO, 2009; PRITCHETT, 1979).

Pesquisas demonstram que desmatamento em pequenas bacias hidrográficas gera o aumento do escoamento médio, principalmente em função da redução da evapotranspiração. Embora esse fato já tenha sido claramente confirmado para pequenas bacias por estudos experimentais, os resultados envolvendo médias e grandes bacias ainda não são consistentes (TUCCI; CLARKE, 1997).

Como há a presença de cobertura vegetal no entorno do aterro controlado em estudo, a capacidade de infiltração do solo, tanto da água das chuvas como dos líquidos percolados gerados no aterro, é favorecida, sendo que, conforme Tucci e

Clarke (1997), de acordo com a capacidade de infiltração do solo, que depende não só da cobertura vegetal, como da quantidade de umidade presente e das características do solo, a água infiltrada pode ser percolada para o aquífero (quando assim ocorre, é transportada em direção aos rios e córregos, gerando condições para mantê-los perenes em épocas de estiagem) ou escoar sub superficialmente pelos canais internos do solo, até a superfície ou um curso d'água. Dessa forma, mesmo havendo infiltração do percolado do aterro, o mesmo também pode atingir os corpos de água superficiais, embora o contaminante possa ser atenuado, passando por processos químicos, físicos e/ou biológicos.

O uso do solo também é capaz de interferir na infiltração. Para solos com superfície sem proteção, que recebe ação de compactação, pode reduzir radicalmente a capacidade de infiltração, acarretando em escoamento superficial mais elevado, como caminhos utilizados pelo gado e estradas, o que diminui a capacidade de infiltração, enquanto a utilização de maquinário agrícola durante o plantio, para revolver o solo, pode aumentar a infiltração (TUCCI e CLARKE, 1997).

## 5.2 LOCAIS DETERMINADOS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

É possível afirmar, de modo geral, que a qualidade da água de um corpo d'água é função do uso e da ocupação do solo em sua bacia de drenagem e das condições ambientais, como os fatores geomorfológicos, geológicos, pedológicas, biológicos e climatológicos (SPERLING, 2009).

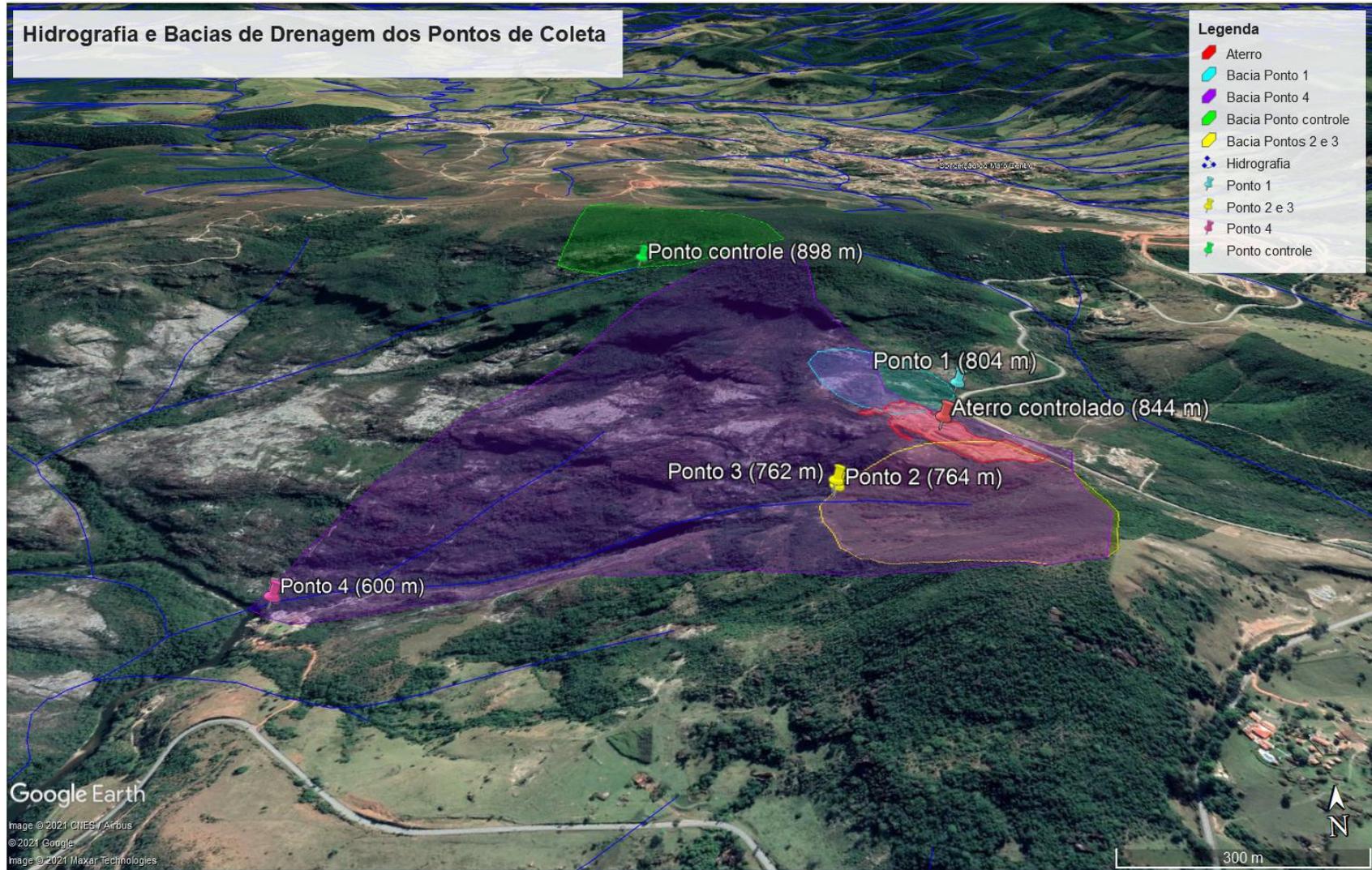
Nesse contexto, as águas pluviais precipitadas sobre as vertentes infiltram e escoam superficialmente e sub superficialmente, carreando sedimentos e poluentes para as drenagens. Sendo assim, os cursos de água são um integrador dos eventos que ocorrem nas vertentes da bacia, passíveis de serem analisados pelos parâmetros de qualidade hídrica (MERTEN; MINELLA, 2002). Da mesma forma, a bacia hidrográfica caracteriza-se como uma unidade a ser levada em consideração quando se objetiva a proteção do recurso hídrico (MOTA, 2008).

Baseado nesse princípio, e considerando que o aterro controlado em estudo se encontra em uma área de divisa de duas bacias, foram escolhidos os pontos de coleta nesses locais. Além disso, a escolha se baseou na distância e na diferença de cota altimétrica entre o aterro controlado e os corpos de água e na topografia. Foram determinados 5 locais de coleta de amostras de água, sendo 4 em cotas inferiores ao

do aterro e em bacias de interferência do aterro e 1 em cota acima e fora das bacias de influência do mesmo, servindo de ponto controle para obtenção de parâmetros locais e comparação de valores.

O aterro controlado encontra-se a 844 metros de altitude, enquanto os cursos d'água mais próximos, conforme dados hidrográficos, estão em altitudes inferiores (Ponto 1: 804 m; Ponto 2: 764 m, Ponto 3: 762 m e Ponto 4: 600 m). O curso d'água mais próximo, com altitude mais elevada que o aterro (898 m), também foi pontuado, para que sirva de ponto controle de comparação de valores, visando a obtenção de parâmetros locais. A Figura 49 indica a localização, altitude e bacias de drenagem dos pontos de coleta.

Figura 49 - Mapa indicativo da localização, altitude e bacias de drenagem dos pontos de coleta água



Fonte: Google Earth (2021), adaptado.

O Ponto 1 está localizado na bacia que verte ao norte do aterro, já os pontos 2, 3 e 4, nas bacias que vertem para oeste, enquanto o ponto controle está fora das bacias de captação a que o aterro pertence.

A Tabela 4 indica o aterro controlado em estudo, os locais de coleta e a altitude a eles relacionadas e a distância entre o ponto e o aterro.

Tabela 4 - Aterro em estudo, locais de coleta e altitudes correlacionadas

Local/Coordenada geográfica (UTM*)	Vista	Altitude (m)	Distância do Aterro Controlado (m)
<p><b>Aterro Controlado</b> 0665011 m E/7891279 m S</p>		844	-
<p><b>Ponto Controle</b> 0664448 m E/7892245 m S</p>		898	1.025

...continua.

Tabela 4 - Aterro em estudo, locais de coleta e altitudes correlacionadas (continuação)

Local/Coordenada geográfica (UTM*)	Vista	Altitude (m)	Distância do Aterro Controlado (m)
<p><b>Ponto 1</b></p> <p>0665132 m E/7891435 m S</p>		804	108
<p><b>Ponto 2</b></p> <p>0664818 m E/7891102 m S</p>		764	214
<p><b>Ponto 3</b></p> <p>0664819 m E/7891122 m S</p>		762	205

...continua.

Tabela 4 - Aterro em estudo, locais de coleta e altitudes correlacionadas (continuação)

Local/Coordenada geográfica (UTM*)	Vista	Altitude (m)	Distância do Aterro Controlado (m)
<p style="text-align: center;"><b>Ponto 4</b></p> <p>0663774 m E/7891081 m S</p>		600	1196

\* DATUM SIRGAS 2000 / UTM Zone 23 K

Fonte: Autora (2021).

### 5.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NOS CORPOS DE ÁGUA PRÓXIMOS AO ATERRO CONTROLADO, PARA DETERMINAÇÃO DE SUA INFLUÊNCIA NA CONTAMINAÇÃO DOS MESMOS

Sabe-se que a topografia e o relevo da região de deposição de resíduos sólidos são capazes de possibilitar a movimentação de poluentes até as cotas menos elevadas (DAHMER; SOARES, 2018). O aterro controlado em estudo está localizado em uma área de vertente e é plausível supor que o líquido percolado do mesmo esteja se direcionando aos corpos de água próximos.

A Tabela 5 aponta os resultados obtidos nos pontos de coleta, sendo apresentado um comparativo com os padrões estabelecidos para as águas doces de Classe 2, segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA nº 357/2005 e o Art. 14 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH MG - nº 01/2008 e com os padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água, conforme o Art. 29 da mesma Deliberação Normativa Conjunta (BRASIL, 2005a; MINAS GERAIS, 2008a).

Tabela 5 - Resultados das análises e padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2 e para lançamentos de efluentes em corpos de água

Parâmetro	Período	Ponto Controle/Branco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	LDM <sup>1</sup>	Padrões CONAMA nº 357/2005 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH MG - nº 01/2008 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH - MG - nº 01/2008 - Lançamento de Efluentes
OD (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	5,1	6,7	9,1	11,2	1,0	Mín. 5,0	Mín. 5,0	-
	Per. Chuvoso*	9,7	12,1	9,9	10,5	10,4				
DBO (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	9,4	23,0	9,2	26,5	0,5	Máx. 5,0	Máx. 5,0	Máx. 60,0
	Per. Chuvoso*	20,5	20	64,0	21,0	48,0				
DQO (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	16,50	37,00	16,50	36,90	2,0	-	-	Máx. 180,0
	Per. Chuvoso*	35,8	34,2	107,0	36,3	82,0				
Coliformes Termotolerantes NMP <sup>3</sup> /100mL	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	1,1 x 10 <sup>3</sup>	9,2 x 10 <sup>3</sup>	3,5 x 10 <sup>3</sup>	4,9 x 10 <sup>2</sup>	1,8	Máx. 1000,0	Máx. 1000,0	-
	Per. Chuvoso*	2,0 x 10 <sup>1</sup>	7,8 x 10 <sup>1</sup>	2,4 x 10 <sup>3</sup>	2,3 x 10 <sup>2</sup>	2,0 x 10 <sup>1</sup>				
Alcalinidade (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	9,6	12,97	5,69	3,54	0,1	-	-	-
	Per. Chuvoso*	3,59	6,49	25,05	19,86	5,09				
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	< 0,1	0,19	1,38	< 0,1	0,1	Máx. 3,7, para pH ≤ 7,5	Máx. 3,7, para pH ≤ 7,5	Máx. 20,0
	Per. Chuvoso*	<0,1	<0,1	1,12	0,69	<0,1				

...continua.

Tabela 5 - Resultados das análises e padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2 e para lançamentos de efluentes em corpos de água  
(continuação)

Parâmetro	Período	Ponto Controle /Branco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	LDM <sup>1</sup>	Padrões CONAMA nº 357/2005 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH H MG - nº 01/2008 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH - MG - nº 01/2008 - Lançamento de Efluentes	
Sódio (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	5,403	21,647	8,637	5,221	0,001	-	-	-	
	Per. Chuvoso*	3,288	4,830	7,385	8,178	4,233	0,001	-	-	-	
Cloreto Total (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	2,21	11,40	8,88	3,95	0,2	Máx. 250,0	Máx. 250,0	-	
	Per. Chuvoso*	0,72	0,72	5,58	3,81	0,66					
Sulfato Total (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	2,99	19,41	14,52	4,32	0,1	Máx. 250,0	Máx. 250,0	-	
	Per. Chuvoso*	4,80	3,19	10,08	4,27	5,38					
Magnésio (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,767	1,547	1,450	0,873	0,001	-	-	-	
	Per. Chuvoso*	0,373	0,377	1,001	0,827	0,260					
Cálcio (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,643	1,917	1,857	0,690	0,001	-	-	-	
	Per. Chuvoso*	0,693	0,693	2,760	2,380	1,000					
Potássio (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	11,110	14,720	9,560	3,993	0,001	-	-	-	
	Per. Chuvoso*	0,719	1,347	5,024	4,780	0,969					
Fósforo total (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	Máx. 0,05	Máx. 0,05	-	
	Per. Chuvoso*	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2					
Óleos e Graxas (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	439,2	305	85,2	48,4	1	Virtualmente ausente	Virtualmente ausente	óleos minerais	Máx. 20,0
	Per. Chuvoso*	NA <sup>4</sup>	NA <sup>4</sup>	NA <sup>4</sup>	NA <sup>4</sup>	NA <sup>4</sup>				óleos vegetais e gorduras animais	Máx. 50,0

...continua.

Tabela 5 - Resultados das análises e padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2 e para lançamentos de efluentes em corpos de água  
(continuação)

Parâmetro	Período	Ponto Controle /Branco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	LDM <sup>1</sup>	Padrões CONAMA n° 357/2005 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH MG - n° 01/2008 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH - MG - n° 01/2008 - Lançamento de Efluentes
Turbidez (UNT) <sup>5</sup>	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,98	2,02	2,45	0,66	0,01	Máx. 100,0	Máx. 100,0	-
	Per. Chuvoso*	0,52	0,67	22,10	6,23	6,60	0,01	Máx. 100,0	Máx. 100,0	-
Sólidos Totais (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	9	63	32	15	1	-	-	-
	Per. Chuvoso*	13	67	102	69	20				
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	7	2	4	<1	1	-	Máx. 100,0	-
	Per. Chuvoso*	<1	<1	89	3	3				
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	2	61	28	15	1	Máx. 500,0	Máx. 500,0	-
	Per. Chuvoso*	13	67	13	66	17				
pH	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	<u>4,83</u>	<u>5,83</u>	<u>5,75</u>	<u>5,53</u>	0,01	-	-	6,0 a 9,0
	Per. Chuvoso*	<u>4,47</u>	<u>4,57</u>	6,24	6,10	<u>5,47</u>				
Dureza (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	5,48	24,24	15,11	3,84	0,1	-	-	-
	Per. Chuvoso*	1,64	1,64	17,91	16,58	3,38				
Condutividade Elétrica (µS/cm)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	32	88,6	76,3	19,55	1	-	-	-
	Per. Chuvoso*	15,67	15,45	63	61,3	12,40				

...continua.

Tabela 5 - Resultados das análises e padrões estabelecidos na legislação para águas doces Classe 2 e para lançamentos de efluentes em corpos de água (continuação)

Parâmetro	Período	Ponto Controle /Branco	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	LDM <sup>1</sup>	Padrões CONAMA nº 357/2005 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH MG - nº 01/2008 - Classe 2	Padrões COPAM/CERH - MG - nº 01/2008 - Lançamento de Efluentes	
										Cromo hexavalente	Máx. 0,5
Cromo (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,078	0,168	0,179	0,171	0,001	Máx. 0,05	Máx. 0,05	Cromo hexavalente	Máx. 0,5
	Per. Chuvoso*	0,669	0,191	0,507	0,469	0,343	0,001	Máx. 0,05	Máx. 0,05	Cromo trivalente	Máx. 1,0
Manganês (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup> -	2,510	2,777	2,740	2,773	0,001	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 1,0	
	Per. Chuvoso*	<0,001	<0,001	0,057	0,0133	<0,001					
Ferro (mg/L)	Per. Seca	-	2,055	2,211	2,560	1,969	0,001	Máx. 0,3	Máx. 0,3	Máx. 15,0	
	Per. Chuvoso*	2,229	2,031	7,061	4,484	2,751					
Níquel (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	< 0,001	0,008	0,062	0,252	0,001	Máx. 0,025	Máx. 0,025	Máx. 1,0	
	Per. Chuvoso*	<0,001	0,181	0,107	0,116	0,043					
Cobre (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,240	0,493	< 0,001	< 0,001	0,001	Máx. 0,009	Máx. 0,009	Máx. 1,0	
	Per. Chuvoso*	<0,001	<0,001	<0,001	0,18	<0,001					
Zinco (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	0,520	0,123	0,030	0,050	0,001	Máx. 0,18	Máx. 0,18	Máx. 5,0	
	Per. Chuvoso*	0,053	<0,001	0,030	0,197	<0,001					
Chumbo (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	Máx. 0,01	Máx. 0,01	Máx. 0,01	
	Per. Chuvoso*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001					
Cádmio (mg/L)	Per. Seca	NC <sup>2</sup>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	Máx. 0,001	Máx. 0,0015	Máx. 0,1	
	Per. Chuvoso*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001					

<sup>1</sup> LDM: Limite de Detecção do Método

<sup>2</sup> NC: Não coletado

<sup>3</sup> NMP/100mL: Número Mais Provável por Cem Mililitros

<sup>4</sup> NA: Não analisado

<sup>5</sup> UNT: Unidades Nefelométrica de Turbidez

\* Choveu com significativa intensidade no dia anterior à coleta e, moderadamente, no dia da mesma.

#### Notas:

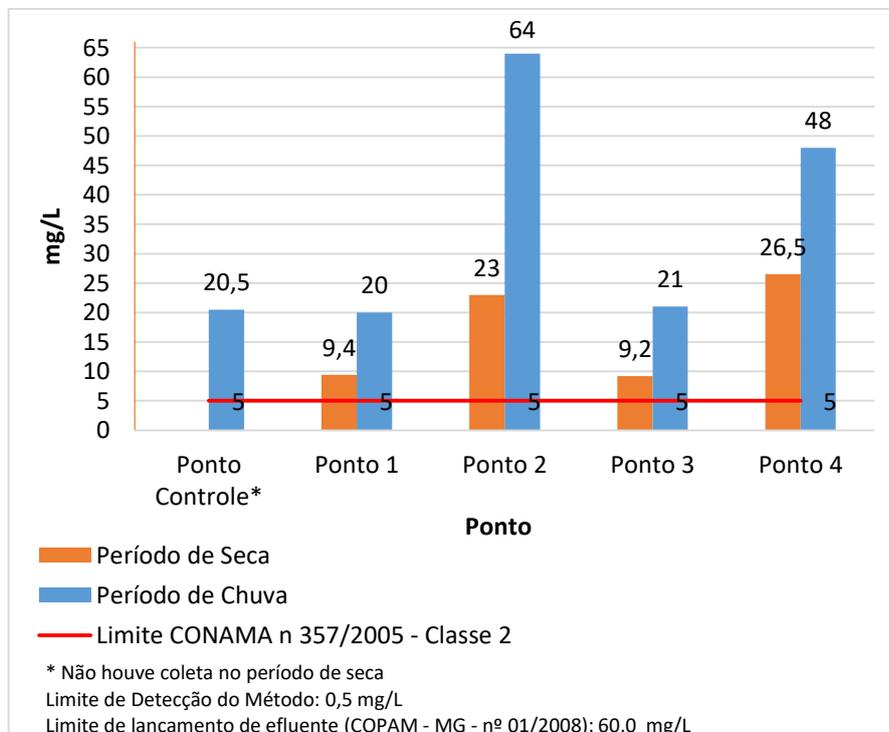
- Os valores em vermelho indicam que não atendem aos padrões estabelecidos para águas doces Classe 2.
- Os valores sublinhados indicam que não atendem aos padrões estabelecidos para lançamentos de efluentes em corpos de água.
- Na primeira campanha, o ponto controle, também chamado branco, não foi coletado.
- Na segunda campanha o parâmetro óleos e graxas de todos os pontos não pode ser analisado.

Fonte: Autora (2021).

De acordo com os padrões estabelecidos para as águas doces de Classe 2, segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA nº 357/2005, e o Art. 14 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH MG - nº 01/2008 e com os padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água, conforme o Art. 29 da mesma Deliberação Normativa Conjunta (BRASIL, 2005a; MINAS GERAIS, 2008a), verifica-se que:

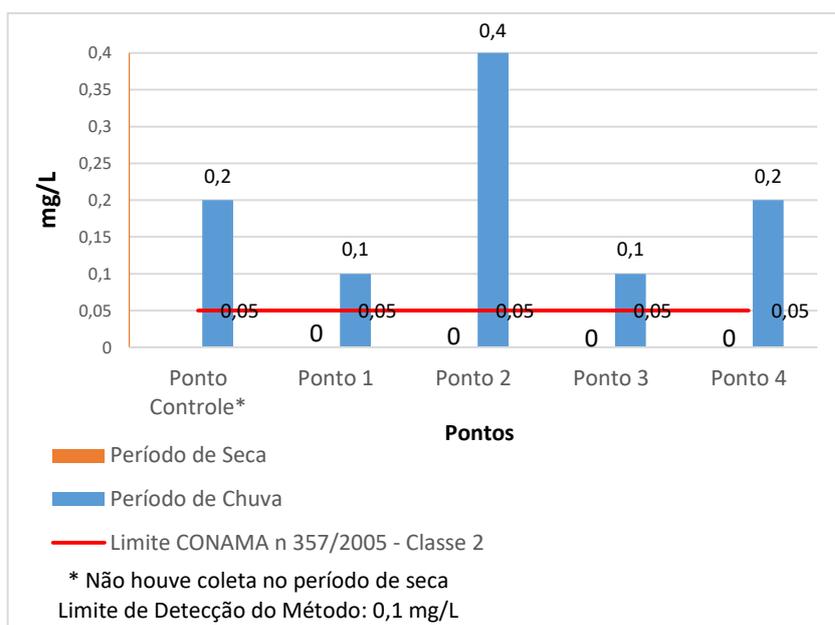
Os valores de DBO, de fósforo, de cromo e de ferro do ponto controle não atenderam os padrões para águas doces Classe 2, além do pH também estar fora dos padrões de lançamento de efluentes. Considerando que tal ponto foi coletado em nascente, distante de pastagens e moradias, em altitude mais elevada que o aterro controlado e fora das bacias de influência do mesmo, para que sirva de parâmetro em relação aos outros pontos coletados, pode-se inferir que essas são as condições naturais das águas superficiais da região. Essa dedução pôde ser confirmada, conforme constatado nos resultados das análises, onde todos esses parâmetros que se encontram fora dos limites para o ponto controle (DBO, P, Cr, Fe e pH), também estão para os pontos 1, 2, 3 e 4 (Figuras 50 à 54).

Figura 50 - Valores do parâmetro DBO para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



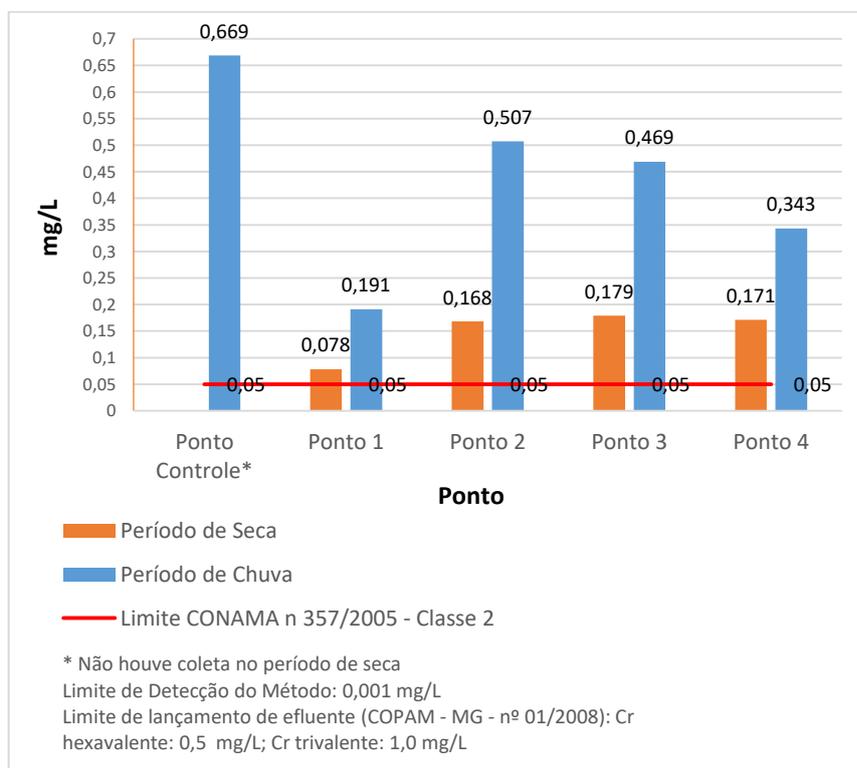
Fonte: Autora (2021).

Figura 51 - Valores do parâmetro fósforo para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



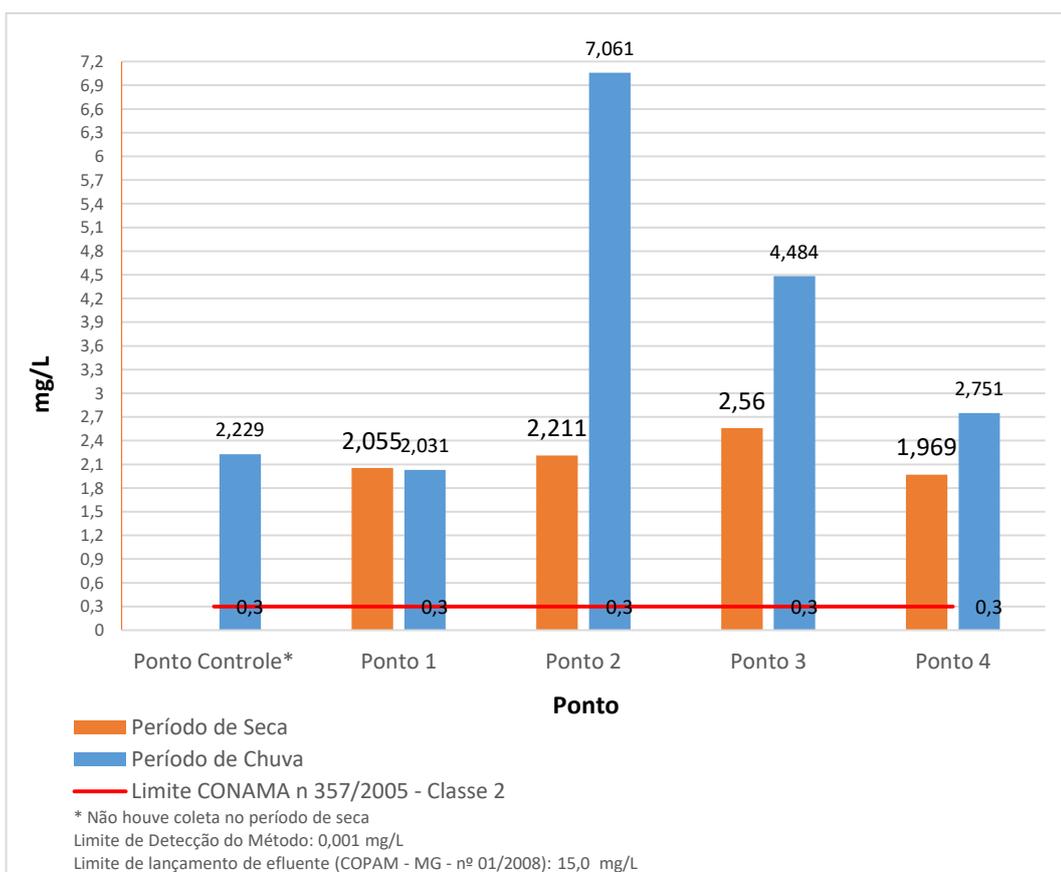
Fonte: Autora (2021).

Figura 52 - Valores do parâmetro cromo para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



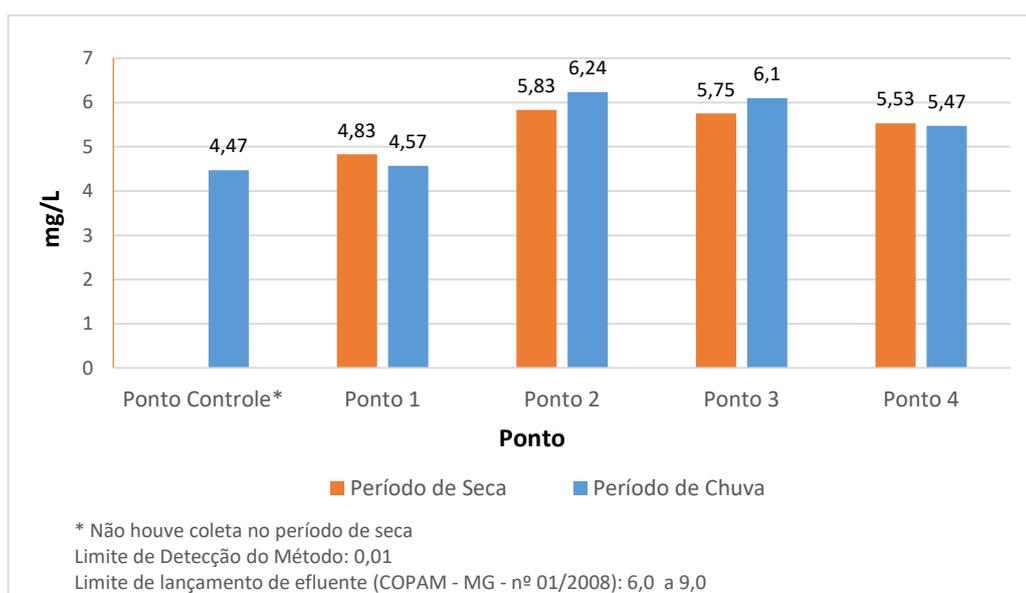
Fonte: Autora (2021).

Figura 53 - Valores do parâmetro ferro para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

Figura 54 - Valores do parâmetro pH para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

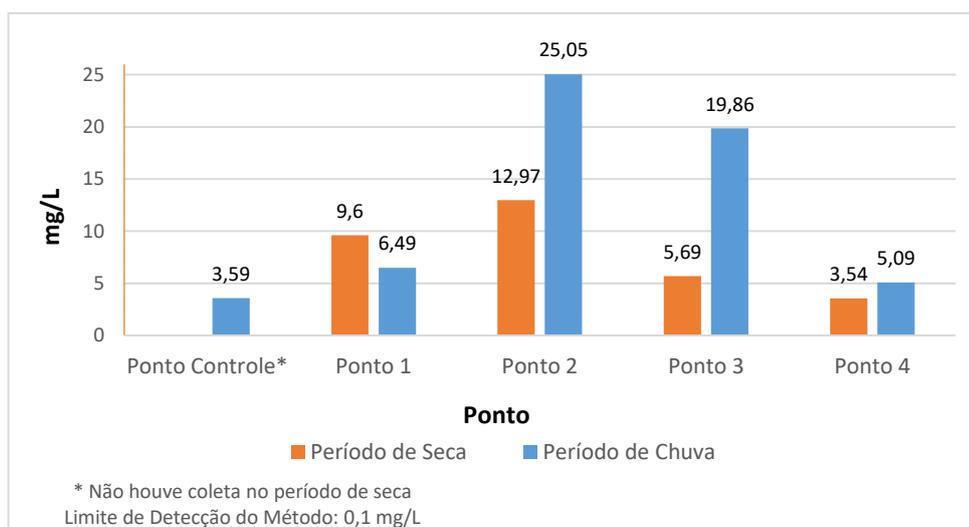
Em todos os períodos, todos os pontos apresentaram concentração de fósforo, cromo e ferro acima dos limites para águas doces Classe 2, incluído o ponto controle (Figuras 51 à 53). Isso possivelmente se deve à ocorrência natural dos mesmos na região, pois, conforme Becker e Pereira (2011), existem registros de direitos minerários no município do aterro em estudo para cromo, minério de ferro e fosfato acionados por mineradoras, o que confirma sua abundância de disponibilidade no território.

Todos os metais analisados, exceto chumbo e cádmio, estão presentes em grandes concentrações em algum ponto e/ou em algum período. Visto que o solo da região é do tipo Neossolo Litólico, caracteristicamente arenoso, corrobora com o afirmado por O'Leary e Walsh (1997) de que solos mais argilosos são capazes de remover metais.

Todos os pontos, até mesmo o ponto controle, apresentaram alta DBO, em relação aos padrões para águas doces Classe 2, nas duas campanhas, se acentuando mais no período chuvoso (Figura 50). No entanto, o solo da região se caracteriza como mais arenoso, e conforme O'Leary e Walsh (1997), solos arenosos removem matéria orgânica. Dessa forma, é provável que a via de contribuição para os altos índices de DBO seja devido ao escoamento superficial da matéria orgânica, ao invés da infiltração, movimento que propicia a remoção da matéria orgânica. Além disso, esse fato pode ser corroborado, considerando que o solo da região é caracterizado como raso, e segundo Santos e Figueiredo (2009), o escoamento superficial só ocorre quando o volume de chuva excede a capacidade de infiltração do solo. Assim, como o solo satura facilmente, a água da chuva, sedimentos, serrapilheira e nutrientes migram direto para o corpo de água, aumentando a DBO no período chuvoso.

A amostra do ponto controle apresentou o pH mais ácido em relação aos outros pontos (Figura 54) e uma baixa alcalinidade no geral, também em comparação (Figura 55). Isso dá indícios de que, caso o aterro controlado esteja realmente contaminando as águas superficiais em cotas menos elevadas, os contaminantes possuem a capacidade de tornarem as águas mais alcalinas. Conforme Moraes e Bertazzoli (2005), o líquido percolado de aterros antigos, apresenta, dentre outros parâmetros, altos índices de alcalinidade.

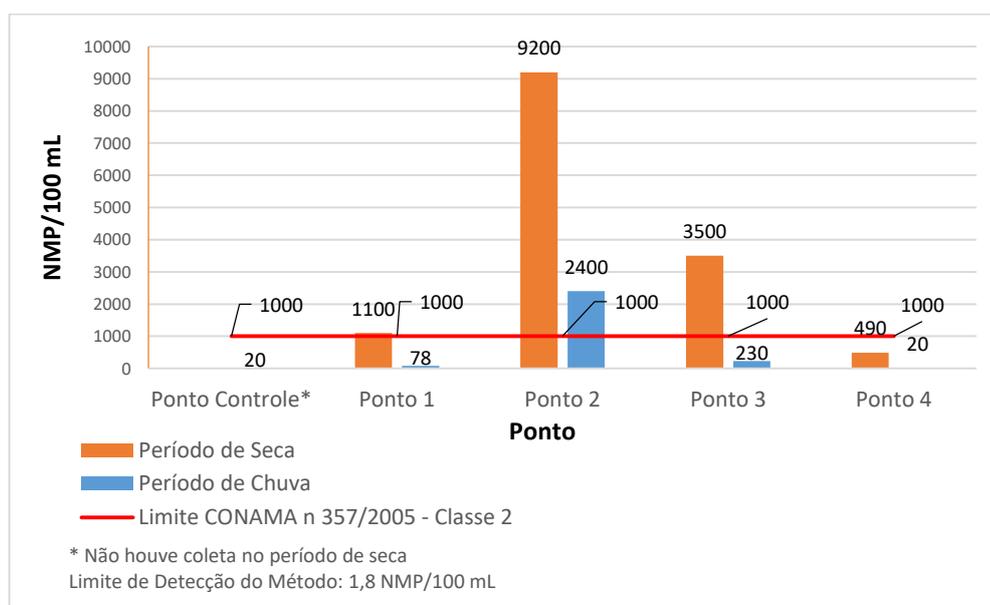
Figura 55 - Valores do parâmetro alcalinidade para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

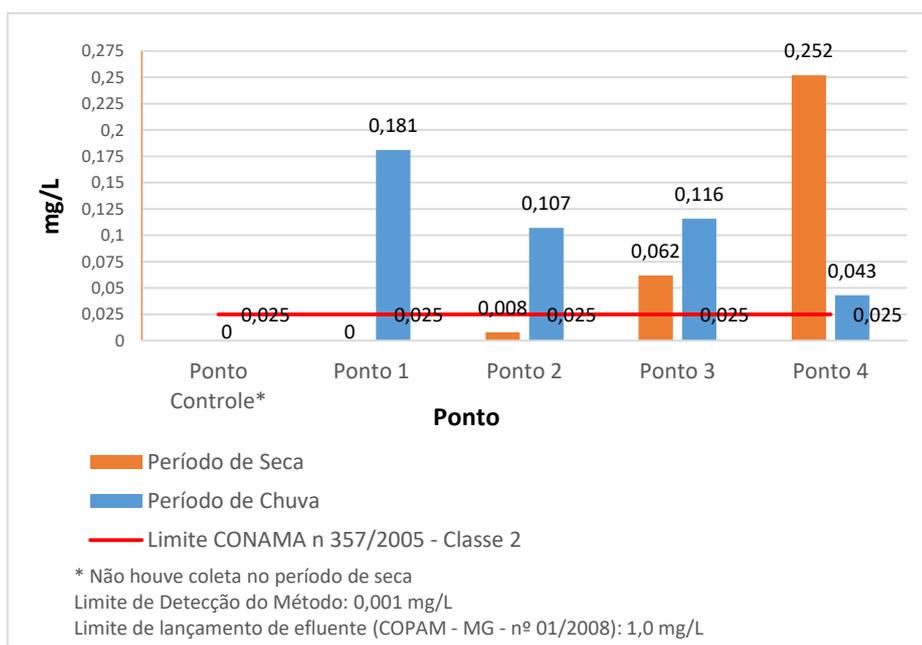
Coliformes termotolerantes, níquel, cobre e zinco não atenderam os padrões para corpos de água Classe 2 em alguns dos pontos 1, 2, 3 ou 4 e atenderam no ponto controle, dando indícios de possível contaminação pelo aterro controlado (Figuras 56 à 59).

Figura 56 - Valores do parâmetro coliformes termotolerantes para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



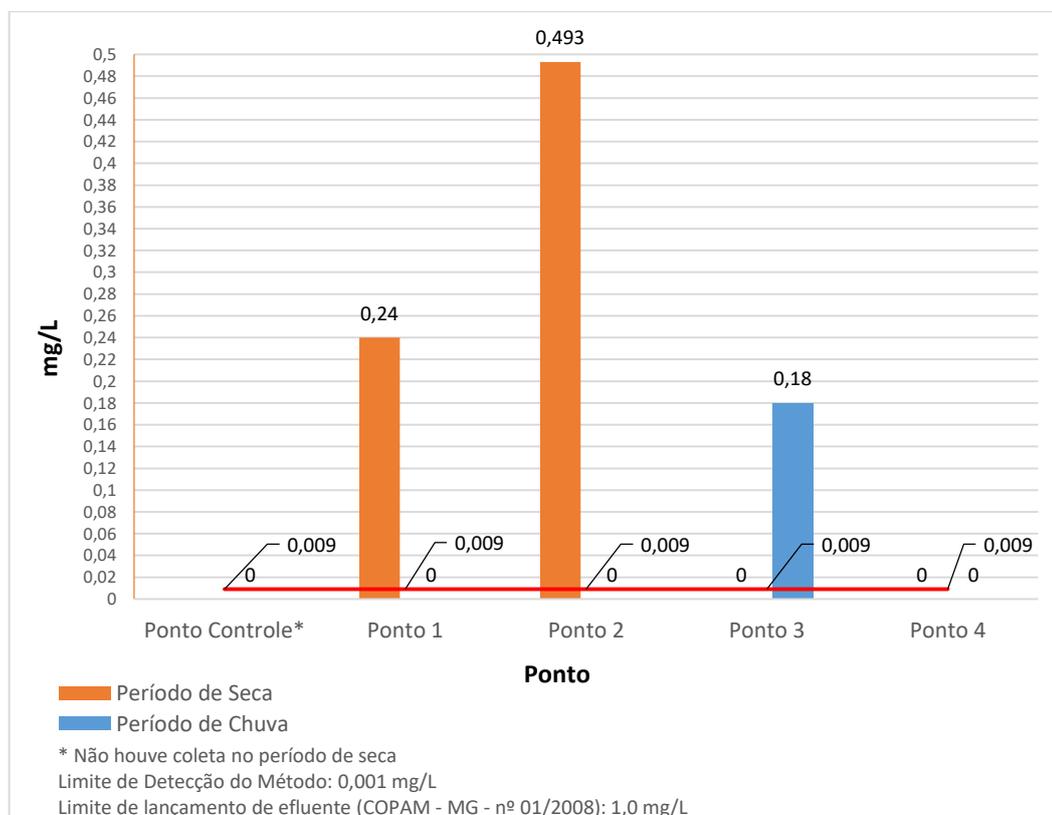
Fonte: Autora (2021).

Figura 57 - Valores do parâmetro níquel para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



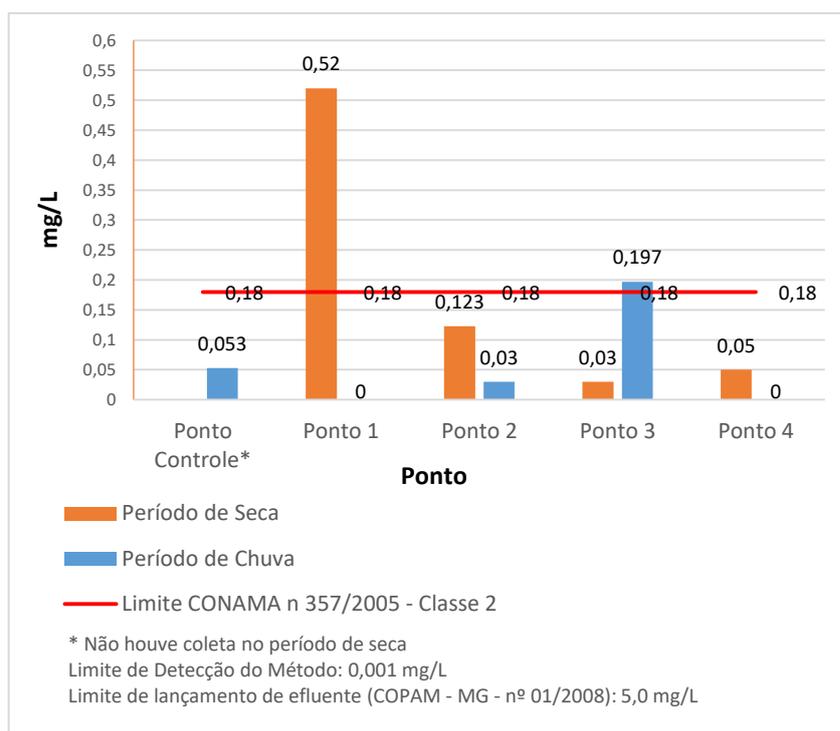
Fonte: Autora (2021).

Figura 58 - Valores do parâmetro cobre para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

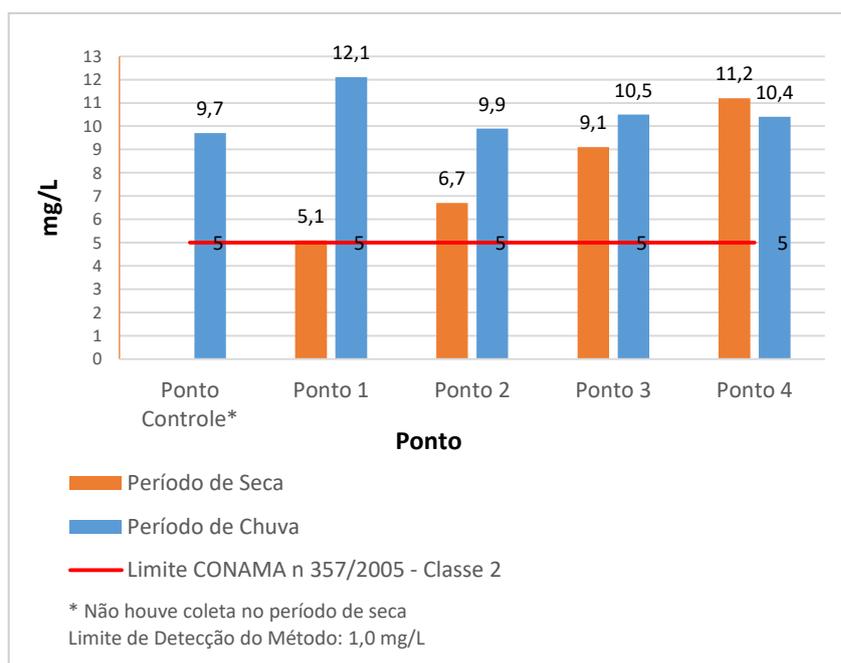
Figura 59 - Valores do parâmetro zinco para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

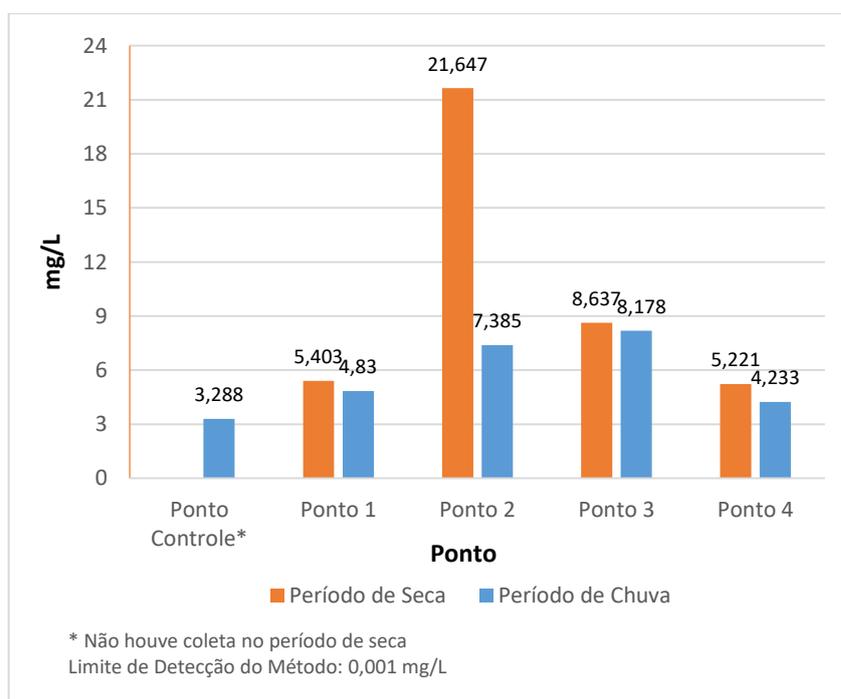
No período chuvoso, estação em que o ponto controle foi coletado, no geral, esse ponto apresentou concentrações menores dos elementos analisados do que nos pontos 1, 2, 3 e 4. Além disso, os valores dos parâmetros OD, coliformes termotolerantes, alcalinidade, sódio, cálcio, potássio, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, pH, dureza e níquel foram maiores do que no ponto controle em todos os pontos (1, 2, 3 e 4), simultaneamente, ou iguais em apenas um dos quatro pontos e maiores nos outros três, também sendo um indicio de possível contaminação provocada pelo aterro controlado, a exceção do parâmetro OD (Figuras 54 à 57 e 60 à 68).

Figura 60 - Valores do parâmetro OD para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



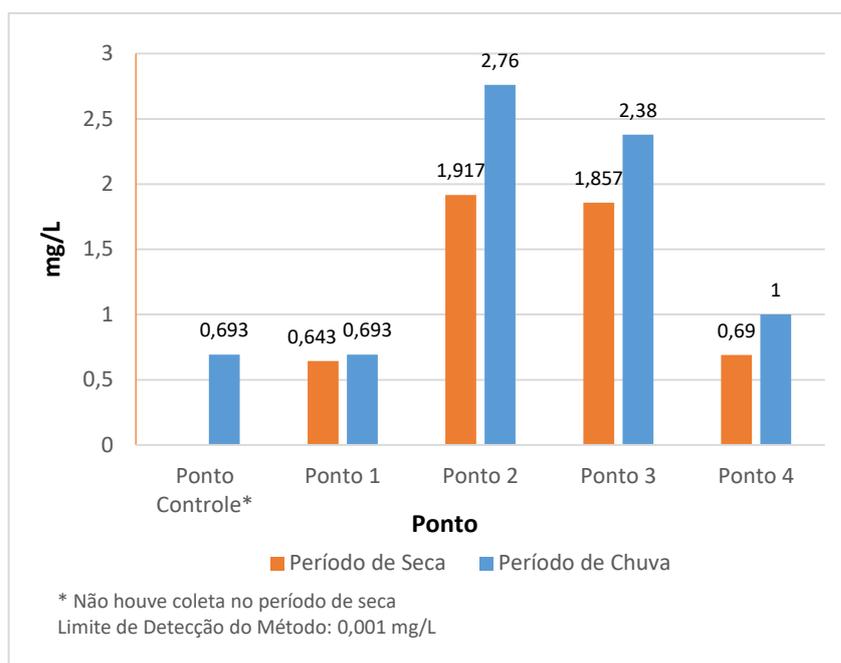
Fonte: Autora (2021).

Figura 61 - Valores do parâmetro sódio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



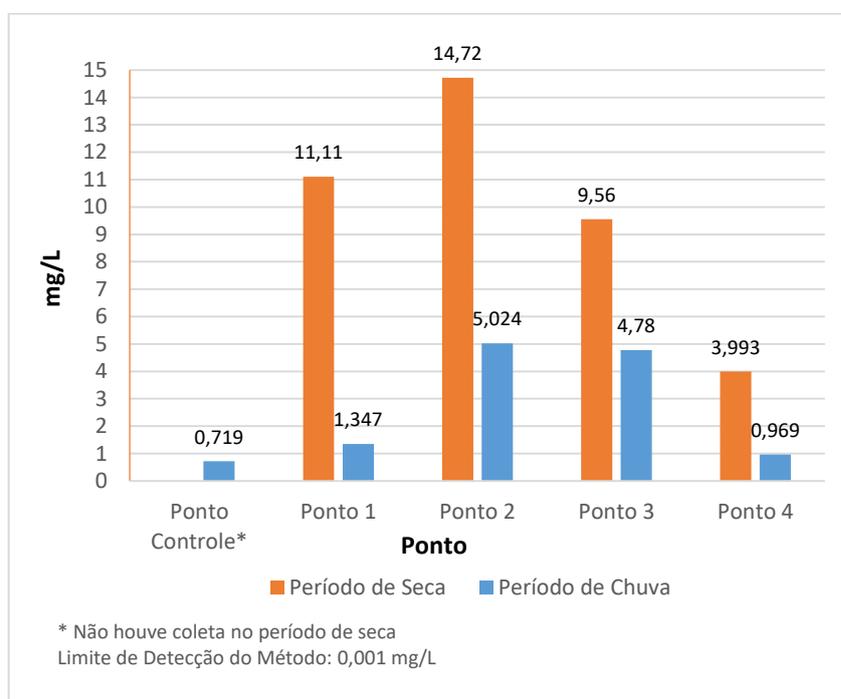
Fonte: Autora (2021).

Figura 62 - Valores do parâmetro cálcio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



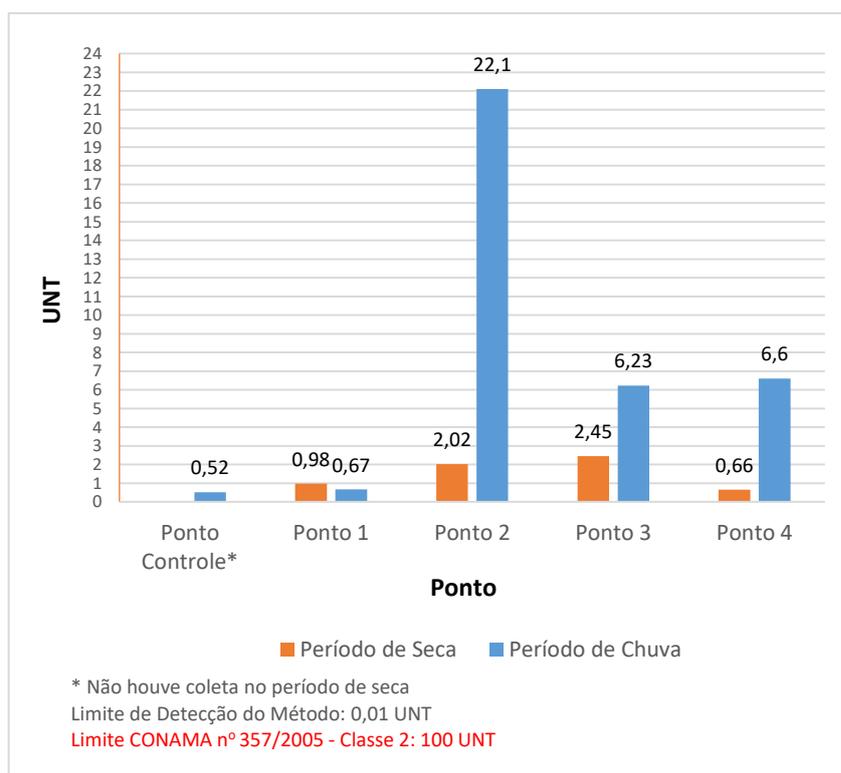
Fonte: Autora (2021).

Figura 63 - Valores do parâmetro potássio para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



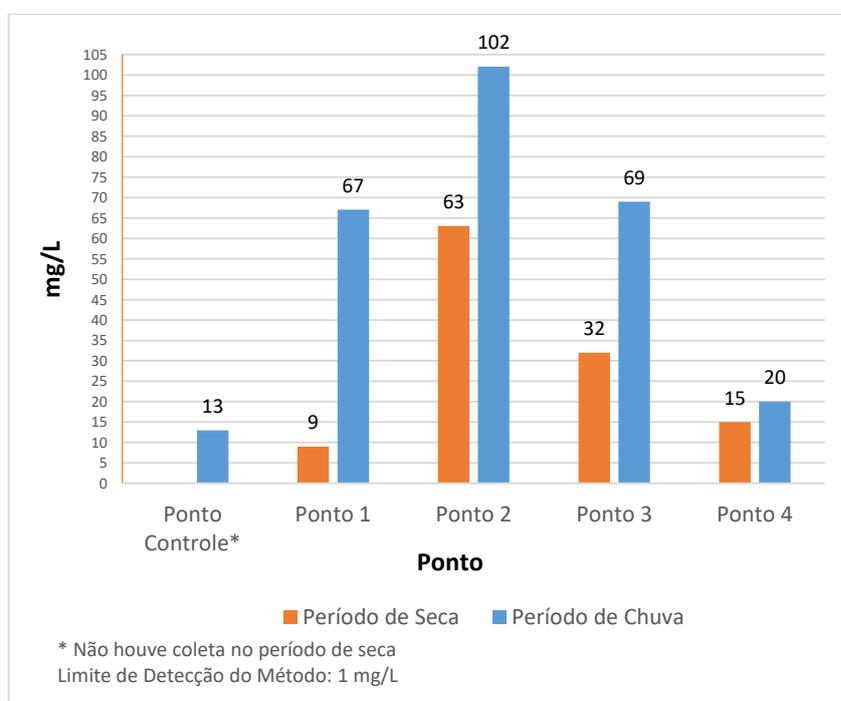
Fonte: Autora (2021).

Figura 64 - Valores do parâmetro turbidez para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



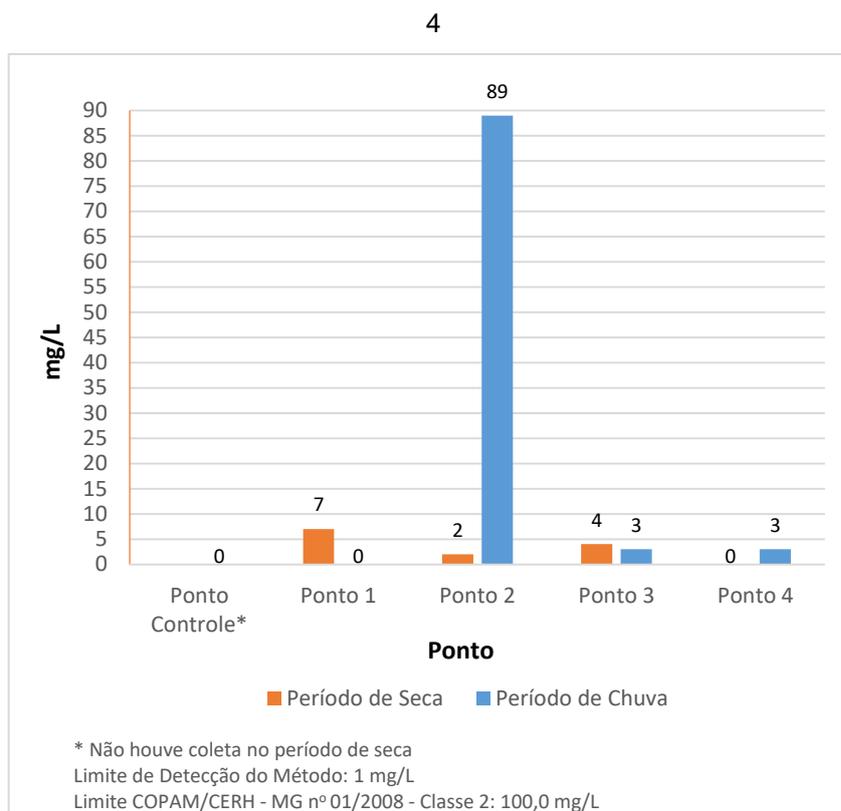
Fonte: Autora (2021).

Figura 65 - Valores do parâmetro sólidos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



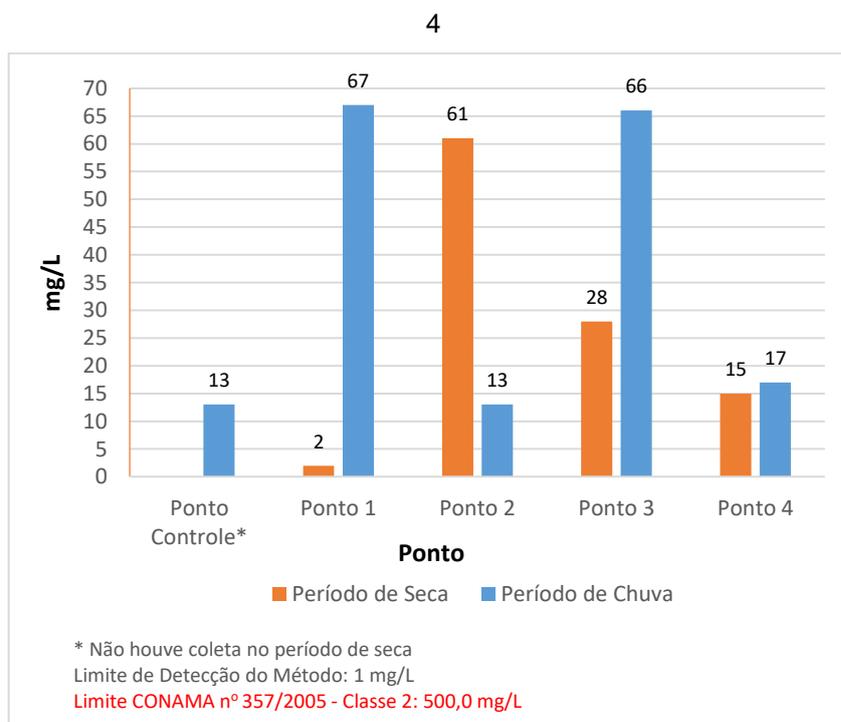
Fonte: Autora (2021).

Figura 66 - Valores do parâmetro sólidos suspensos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e



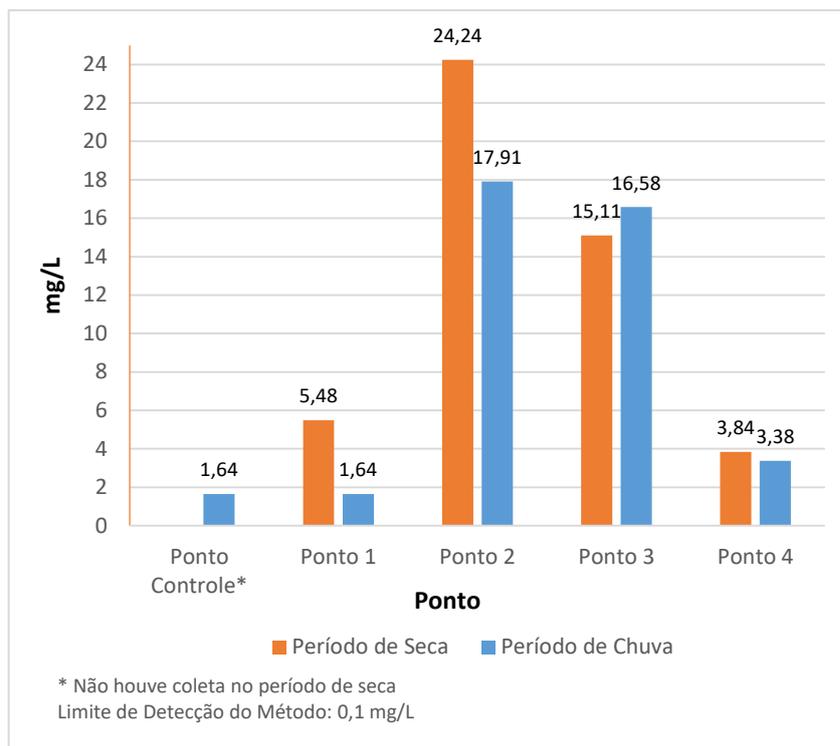
Fonte: Autora (2021).

Figura 67 - Valores do parâmetro sólidos dissolvidos totais para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e



Fonte: Autora (2021).

Figura 68 - Valores do parâmetro dureza para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

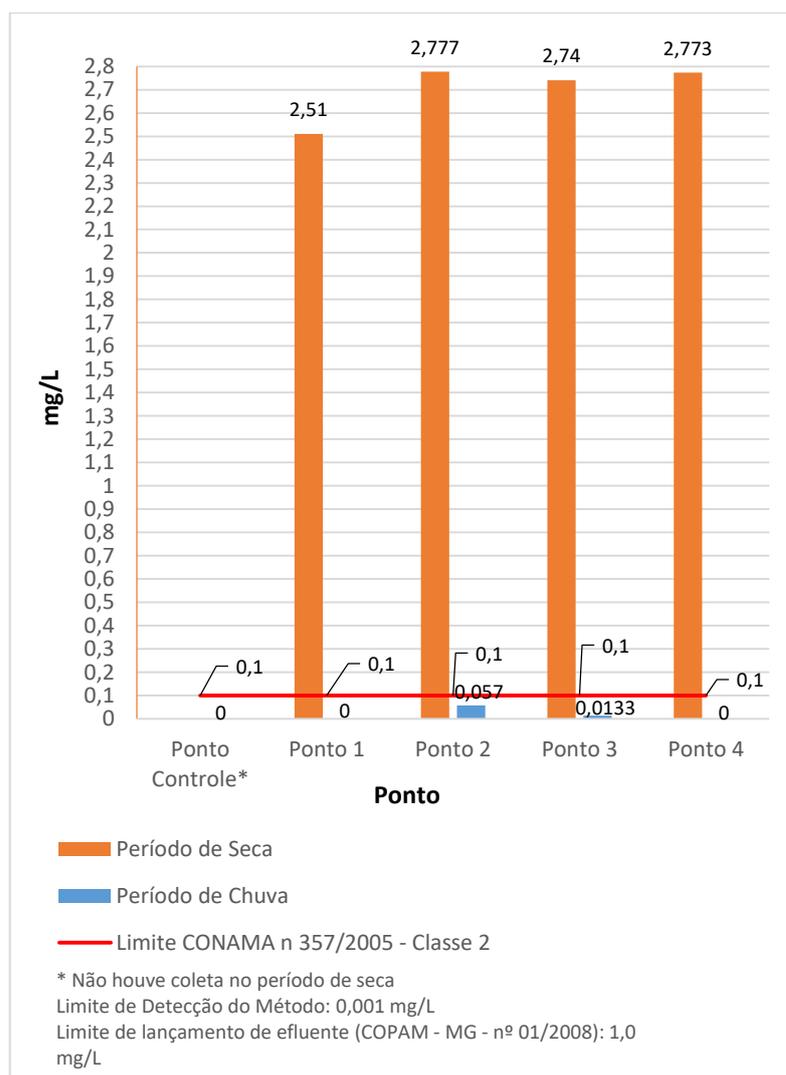
No período seco, os pontos 1, 2 e 3, contiveram maiores concentrações de coliformes termotolerantes que os padrões para águas doces Classe 2. A presença de gado sobre a pastagem presente próxima aos pontos 2 e 3 pode estar contribuindo para o aumento de coliformes nesses locais. (Figura 56)

A concentração de níquel no ponto controle encontrou-se muito abaixo do encontrado nos pontos 1, 2, 3 e 4, além destes estarem acima do limite estabelecido na legislação (Figura 57). O mesmo ocorreu com a concentração de cobre nos pontos 1, 2 e 3 (Figura 58) e com a concentração de zinco nos pontos 1 e 3 (Figura 59). Esse pode ser um indício de que está havendo contaminação dos corpos de água devido à presença do aterro controlado, sendo que, segundo Sanchez (2001), cobre e zinco foram exemplos citados de metais que podem migrar para águas superficiais e subterrâneas pelos líquidos percolados originários de locais de disposição inadequada de resíduos sólidos.

Os óleos e graxas, que deveriam estar virtualmente ausentes nas águas doces de Classe 2, conforme a legislação, aparecem nos pontos 1, 2, 3 e 4. Considerando que não há indústrias, empreendimentos e povoados próximos a esses pontos, é provável que a fonte de contaminação seja o terro controlado.

No período seco, os pontos 1, 2, 3 e 4 apresentaram concentrações muito elevadas de manganês, ultrapassando em muito os limites para águas doces Classe 2 e até mesmo os limites para lançamento de efluentes em corpos de água exigidos na legislação. No entanto, no período chuvoso esses valores reduziram-se consideravelmente, a níveis comparáveis ao ponto controle (Figura 69).

Figura 69 - Valores do parâmetro manganês para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

Com as chuvas, nos pontos 1, 2, 3 e 4, o OD, a DBO, a DQO, o fósforo, os sólidos totais e o cromo aumentaram e os coliformes termotolerantes, o sódio, o cloreto, o magnésio, o cálcio, o potássio e o manganês diminuíram.

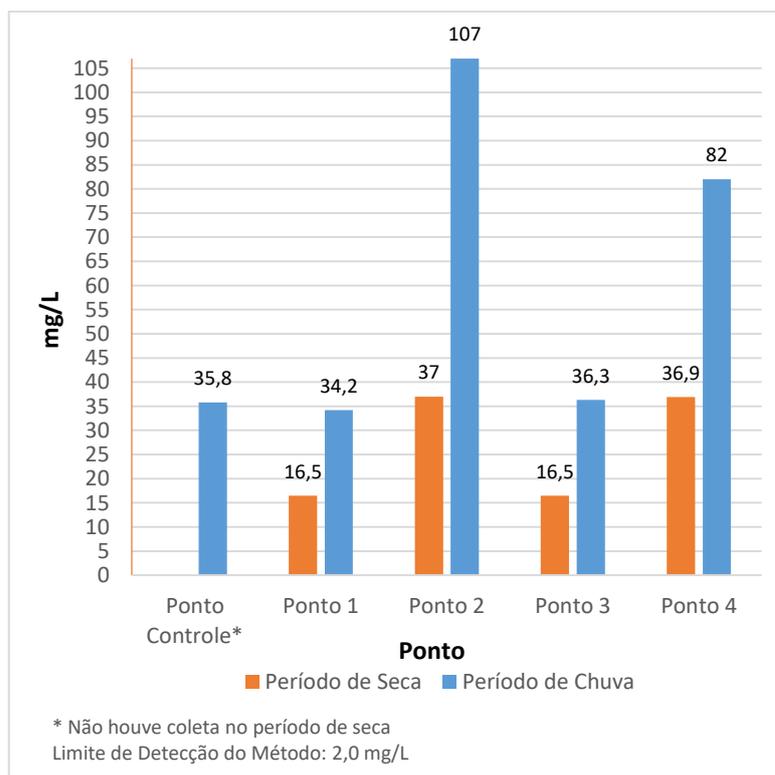
Provavelmente a DBO e a DQO aumentaram, porque os sólidos totais, foram carregados pelas chuvas e os coliformes termotolerantes, o sódio, o cloreto, o

magnésio, o cálcio, o potássio e o manganês diminuíram, porque foram diluídos pelas águas das chuvas.

No ponto 2, a DBO bastante elevada ultrapassou até mesmo os limites de lançamento de efluentes em corpos de água (Figura 50). Isso se deve ao fato de este ponto se caracterizar como um sistema lântico, onde a matéria orgânica naturalmente se acumula com a água parada, diferentemente dos outros pontos, que são lóticos, onde o fluxo constante de água carrega esses nutrientes até a foz.

A DBO em corpo hídrico é um parâmetro que não serve muito para indicar contaminação por lixões e aterros, pois somente é quantificada quando em líquidos percolados recém gerados. Geralmente, quando os mesmos atingem essas águas, já é um chorume mais antigo e sofreu mais degradação do que o que acabou de ser produzido na massa de resíduos. Já a DQO sim, é um bom parâmetro que indica contaminação de corpo d'água, pois no caminho dos líquidos percolados até os corpos hídricos, as substâncias menos resistentes à oxidação por microrganismos já foram degradadas, predominando as que ainda poderão sofrer oxidação química. No caso em análise, a DQO foi, consideravelmente, maior nos pontos 2 e 4, em relação ao ponto controle (Figura 70), podendo também ser indício de contaminação pelo aterro.

Figura 70 - Valores do parâmetro DQO para o ponto controle e os pontos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Autora (2021).

O ponto 3 está localizado na nascente do mesmo curso de água em que foi coletado o ponto 4, mais a jusante. Realizando uma comparação entre seus resultados, observou-se, que de modo geral, a concentração dos poluentes decresce, conforme se afasta do aterro, indicando a ocorrência de depuração dos contaminantes.

A Figura 71 resume a informação se os resultados ultrapassaram ou não os limites das legislações para corpos de água Classe 2, nos pontos controle, 1, 2, 3 e 4, em ambos os períodos, e se a contaminação das águas superficiais possivelmente é proveniente do aterro controlado ou é influência de outros fatores.

Figura 71 - Quadro-resumo dos parâmetros que possuem padrões estabelecidos nas legislações, seus cumprimentos nos pontos controle 1, 2, 3 e 4 e provável fator de influência

Parâmetro	O ponto controle atendeu aos padrões estabelecidos nas legislações?	O ponto 1 atendeu aos padrões estabelecidos nas legislações?	O ponto 2 atendeu aos padrões estabelecidos nas legislações?	O ponto 3 atendeu aos padrões estabelecidos nas legislações?	O ponto 4 atendeu aos padrões estabelecidos nas legislações?	Provável fator de influência
Oxigênio Dissolvido	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Não	Não	Não	Não	Não	Ocorrência natural na região
Coliformes Termotolerantes	Sim	Não	Não	Não	Sim	Aterro controlado e/ou gado
Nitrogênio Amoniacal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Cloreto Total	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Sulfato Total	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Fósforo total	Não	Não	Não	Não	Não	Ocorrência natural na região
Óleos e Graxas	NA*	Não	Não	Não	Não	Aterro controlado
Turbidez	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Sólidos Suspensos Totais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Sólidos Dissolvidos Totais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Cromo	Não	Não	Não	Não	Não	Ocorrência natural na região
Manganês	Sim	Não	Não	Não	Não	Aterro controlado
Ferro	Não	Não	Não	Não	Não	Ocorrência natural na região
Níquel	Sim	Não	Não	Não	Não	Aterro controlado
Cobre	Sim	Não	Não	Não	Sim	Aterro controlado
Zinco	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Aterro controlado
Chumbo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Cádmio	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-

\*NA: Não analisado.

Fonte: Autora (2021).

A Figura 72 sintetiza os indícios identificados no presente estudo e que poderiam estar relacionados com a influência do aterro controlado nas águas superficiais.

Figura 72 - Quadro-síntese dos os indícios que poderiam estar relacionados com a influência do aterro controlado nas águas superficiais

<b>Parâmetro</b>	<b>Indício de Contaminação</b>
Demanda Bioquímica de Oxigênio	A amostra do ponto controle apresentou DBO menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Demanda Química de Oxigênio	A amostra do ponto controle apresentou DQO menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Coliformes Termotolerantes	A amostra do ponto controle apresentou número de coliformes termotolerantes mais baixos em relação aos pontos 1, 2 e 3*, sendo que estes, em algum período, não atenderam os padrões para corpos de água Classe 2 e atenderam no ponto controle.
Alcalinidade	A amostra do ponto controle apresentou alcalinidade mais baixa em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*.
Nitrogênio Amoniacal	A amostra do ponto controle apresentou concentração de N-NH <sub>3</sub> menos elevada do que em relação aos pontos 2 e 3*.
Sódio	A amostra do ponto controle apresentou concentração de sódio menos elevada do que em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*.
Cloreto Total	A amostra do ponto controle apresentou concentração de cloreto total menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Sulfato Total	A amostra do ponto controle apresentou cloreto total menos elevada do que em relação aos pontos 2 e 4*.
Magnésio	A amostra do ponto controle apresentou concentração de magnésio menos elevada do que em relação aos pontos 1, 2 e 3*.
Cálcio	A amostra do ponto controle apresentou concentração de cálcio menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Potássio	A amostra do ponto controle apresentou concentração de potássio menos elevada do que em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*.
Óleos e Graxas	Óleos e graxas deveriam estar virtualmente ausentes nas águas doces de Classe 2, mas aparecem nos pontos 1, 2, 3 e 4. Considerando que não há indústrias, empreendimentos e povoados próximos a esses pontos, é provável que a fonte de contaminação seja o terro controlado.

...continua.

Figura 72 - Quadro-síntese dos os indícios que poderiam estar relacionados com a influência do aterro controlado nas águas superficiais (continuação)

<b>Parâmetro</b>	<b>Indício de Contaminação</b>
Turbidez	A amostra do ponto controle apresentou turbidez menos elevada do que em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*.
Sólidos Suspensos Totais	A amostra do ponto controle apresentou concentração de sólidos suspensos totais menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Sólidos Dissolvidos Totais	A amostra do ponto controle apresentou concentração de sólidos dissolvidos totais menos elevada do que em relação aos pontos 1, 3 e 4*.
pH	A amostra do ponto controle apresentou pH mais ácido do que em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*.
Dureza	A amostra do ponto controle apresentou dureza menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Condutividade Elétrica	A amostra do ponto controle apresentou condutividade elétrica menos elevada do que em relação aos pontos 2 e 3*.
Manganês	A amostra do ponto controle apresentou concentração de manganês menos elevada do que em relação aos pontos 2 e 3*.
Ferro	A amostra do ponto controle apresentou concentração de ferro menos elevada do que em relação aos pontos 2, 3 e 4*.
Níquel	A amostra do ponto controle apresentou concentração de níquel menos elevada em relação aos pontos 1, 2, 3 e 4*, sendo que estes não atenderam os padrões para corpos de água Classe 2 e atenderam no ponto controle.
Cobre	Os pontos 1, 2 e 3 não atenderam os padrões para corpos de água Classe 2 e atenderam no ponto controle.
Zinco	Os pontos 1 e 3 não atenderam os padrões para corpos de água Classe 2 e atenderam no ponto controle.

\* Comparação com o período chuvoso, campanha em que o ponto controle foi coletado.

Fonte: Autora (2021).

#### 5.4 PROPOSTA DE MEDIDAS CORRETIVAS A SEREM EXECUTADAS NO ENCERRAMENTO DO ATERRO CONTROLADO, EM ESTUDO, DE MANEIRA A MINIMIZAR O POTENCIAL DE CONTAMINAÇÕES FUTURAS AOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Conforme Bissordi *et al.* (2004), prefeitura (MINAS GERAIS, 2018) e resultados obtidos nessa pesquisa, chegou-se à seguinte proposta de adequação e recuperação do aterro controlado em estudo.

#### 5.4.1 Reconfiguração Geométrica

Sugere-se executar, no aterro controlado em estudo, a reconfiguração geométrica do maciço de resíduos, projetado a partir de levantamentos planialtimétrico e geotécnico de forma que possibilite a execução do sistema de drenagem e estabilize o maciço.

A reconfiguração deve ser realizada adicionando-se revestimento externo de solo, que apresente coeficiente de permeabilidade aferido por meio de ensaios geotécnicos, para se corrigir as medidas de altura das plataformas, inclinação dos taludes e largura e inclinação das bermas.

A camada de impermeabilização deverá possuir inclinação adequada para possibilitar o escoamento de águas pluviais, sendo que a camada de solo argiloso deverá sofrer compactação controlada, alcançando o coeficiente de permeabilidade aferido, para que se estabeleça barreira física sobre a massa de resíduos, diminuindo a quantidade de águas pluviais infiltradas, acarretando na redução de líquidos percolados gerados.

Quando ocorrerem recalques diferenciais na superfície do aterro, devido à decomposição gradual da matéria orgânica, deve-se adicionar solo de recomposição, corrigindo-se o surgimento de depressões não desejadas.

Pelo fato de o aterro controlado em estudo possuir altura baixa, mas não haver informações a respeito do controle de disposição de resíduos ao longo do seu funcionamento, para o monitoramento da deformação e da movimentação do maciço de resíduos, sugere-se a instalação de medidores de recalques, confeccionados de base de concreto e hastes metálicas.

Além disso, deve-se realizar leituras topográficas periódicas, que ao serem lançadas em planilhas, demonstrarão as proporções e as condições de deformação das seções, permitindo reparos anteriores à ocorrência de processos de ruptura no maciço.

## 5.4.2 Líquidos Percolados Gerados

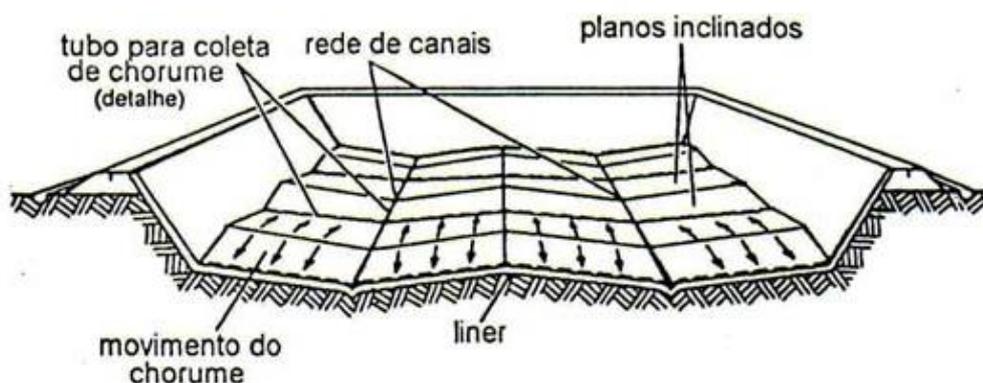
### 5.4.2.1 Estimativa da produção de líquidos percolados

Para se projetar um sistema de drenagem e de tratamento dos líquidos percolados da massa de resíduos, deve-se estimar a vazão de líquidos produzidos, utilizando-se o Método Suíço citado anteriormente.

### 5.4.2.2 Drenagem de líquidos percolados

Para prevenir a desestabilização de taludes e a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, a drenagem dos líquidos percolados deverá ser projetada a partir de estudo planialtimétrico e executada nos platôs, nos pés e nas camadas dos taludes, em diferentes profundidades na massa de resíduos, antes do selamento do aterro com solo (Figura 73).

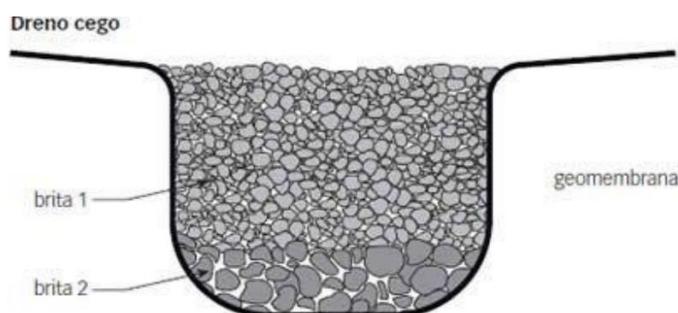
Figura 73 – Sistema de drenagem de líquidos percolados



Fonte: TCHOBANOGLOUS et al. (1993).

Sugere-se que o sistema de drenagem seja do tipo dreno “cego”, onde a cava seja preenchida de material adequado, de forma a permitir o fluxo intersticial, sem condutores tubulares (Figura 74). A sua concepção deverá observar o balanço hídrico do aterro controlado, aplicando o Método Suíço.

Figura 74 - Dreno cego para captação de líquidos percolados



Fonte: RIMA Bom Despacho / MG (2018)

<http://mzbhd.com.br/wp-content/uploads/2018/10/RIMA-Bom-Despacho-ilovepdf-compressed.pdf>

As cavas dos drenos da base do talude necessitam ser envoltas com geotêxtil e as do topo, deverão conter restos de podas de árvores sobre os materiais de preenchimento, de forma a reduzir a infiltração de partículas finas no sistema de drenagem, que com o decorrer do tempo, possam colmatar o sistema.

Por fim, a drenagem encaminhará o líquido percolado para o nível inferior do aterro, que deverá conter um poço de captação e bombeamento do mesmo. As inspeções rotineiras deverão aferir as tubulações de líquidos percolados.

#### 5.4.2.3 Tratamento de líquidos percolados

O tratamento de líquidos percolados deverá ser realizado por estação de tratamento executada pelo próprio município ou por meio da concessionária prestadora dos serviços de saneamento do município.

Para o monitoramento da eficácia desse tratamento, periodicamente, deverá ser feita avaliação comparativa dos resultados de análises físico-químicas do líquido bruto e do efluente da unidade do sistema de tratamento, considerando os padrões de lançamentos de efluentes de fontes poluidoras e a eficiência de tratamento para

sistemas de percolados de aterros sanitários municipais estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008a).

O monitoramento deverá se basear ainda, na medição da vazão dos líquidos percolados de forma sistemática.

### 5.4.3 Águas Pluviais

#### 5.4.3.1 Estimativa da vazão de águas pluviais escoadas superficialmente

Propõe-se que o sistema de drenagem superficial seja dimensionado utilizando-se os valores do coeficiente de escoamento superficial em função da impermeabilidade do terreno, da intensidade da precipitação máxima, pelo tempo de concentração da bacia e de cada área de contribuição.

#### 5.4.3.2 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial

Tendo-se estimada a vazão das diferentes áreas de contribuição do aterro controlado, deve-se dimensionar os dispositivos da rede de drenagem superficial de escoamento em livre superfície, utilizando-se a Fórmula de Manning, citada anteriormente.

#### 5.4.3.3 Drenagem de águas pluviais

Para a manutenção da estabilidade geotécnica do maciço de resíduos ao prevenir erosões, assoreamento de cursos d'água e infiltrações causadas pelas águas da chuva, o sistema de drenagem pluvial deverá ser projetado a partir de estudos planialtimétrico e hidrológico e executada nas plataformas, após finalizada sua reconfiguração geométrica. Nos pés dos taludes, utilizar canaletas meia cana de concreto dimensionadas com declividade e velocidade de escoamento conforme o perfil longitudinal do aterro e do terreno (Figura 75).

Figura 75 – Uso de canaleta meia cana de concreto



Fonte: FGEO - Engenharia

Sobre o topo do maciço, nas bermas e nos taludes das plataformas, deve-se instalar canais de drenagem para captar as águas das precipitações e as encaminhar às escadas de dissipação de Colchão Reno até a cota mais baixa do aterro (Figura 76).

Figura 76 – Escada de dissipação de Colchão Reno de aterro em curva de nível



Fonte: FGEO - Engenharia

<https://www.fgeo.com.br/obras/central-de-tratamento-de-residuos-nova-iguacu-rj/>

Para evitar a infiltração de águas de chuva, as escadas deverão ser revestidas com camada de concreto e dimensionadas de acordo com o arranjo dos elementos e a inclinação dos taludes, com capacidade para receber as vazões de contribuição projetadas e proporcionar a dissipação de energia. Além disso, deve-se instalar caixas coletoras de concreto nos pés das escadas, que também servirão como bocas de lobo.

Todas as estruturas de drenagens citadas deverão estar conectadas ao corpo hídrico habilitado para captar toda a água pluvial que escoar pelas canaletas.

Para acompanhamento, deve-se prever um Plano de Manutenção do Sistema de Drenagem, onde recomenda-se limpeza periódica e exame sistemático das condições estruturais do sistema de drenagem pluvial inicialmente e após as estações chuvosas, assim como posteriormente às chuvas intensas. As estruturas danificadas, estranguladas ou obstruídas, deverão ser imediatamente reparadas.

Há também, o sistema de drenagens naturais do aterro, que deságua nos cursos d'água próximos. Este também deve passar por manutenções periódicas, como o desassoreamento de calhas.

#### 5.4.4 Cobertura Vegetal dos Taludes

Para conferir estabilidade geotécnica aos taludes, prevenir sua erosão e assoreamento de corpos d'água, diminuir a quantidade de águas de chuvas que infiltram no interior da massa de resíduos devido à evapotranspiração, além de melhorar a paisagem e atração de fauna silvestre, deve-se realizar o plantio de espécies nativas sobre os taludes, sendo que para isso, é necessária a introdução de uma camada de solo orgânico e adubação.

#### 5.4.5 Monitoramento dos Corpos D'água Superficiais

Pontos de monitoramento nas águas superficiais próximas ao aterro controlado deverão ser estabelecidos. O monitoramento deverá ser periódico, considerando os parâmetros previstos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005a).

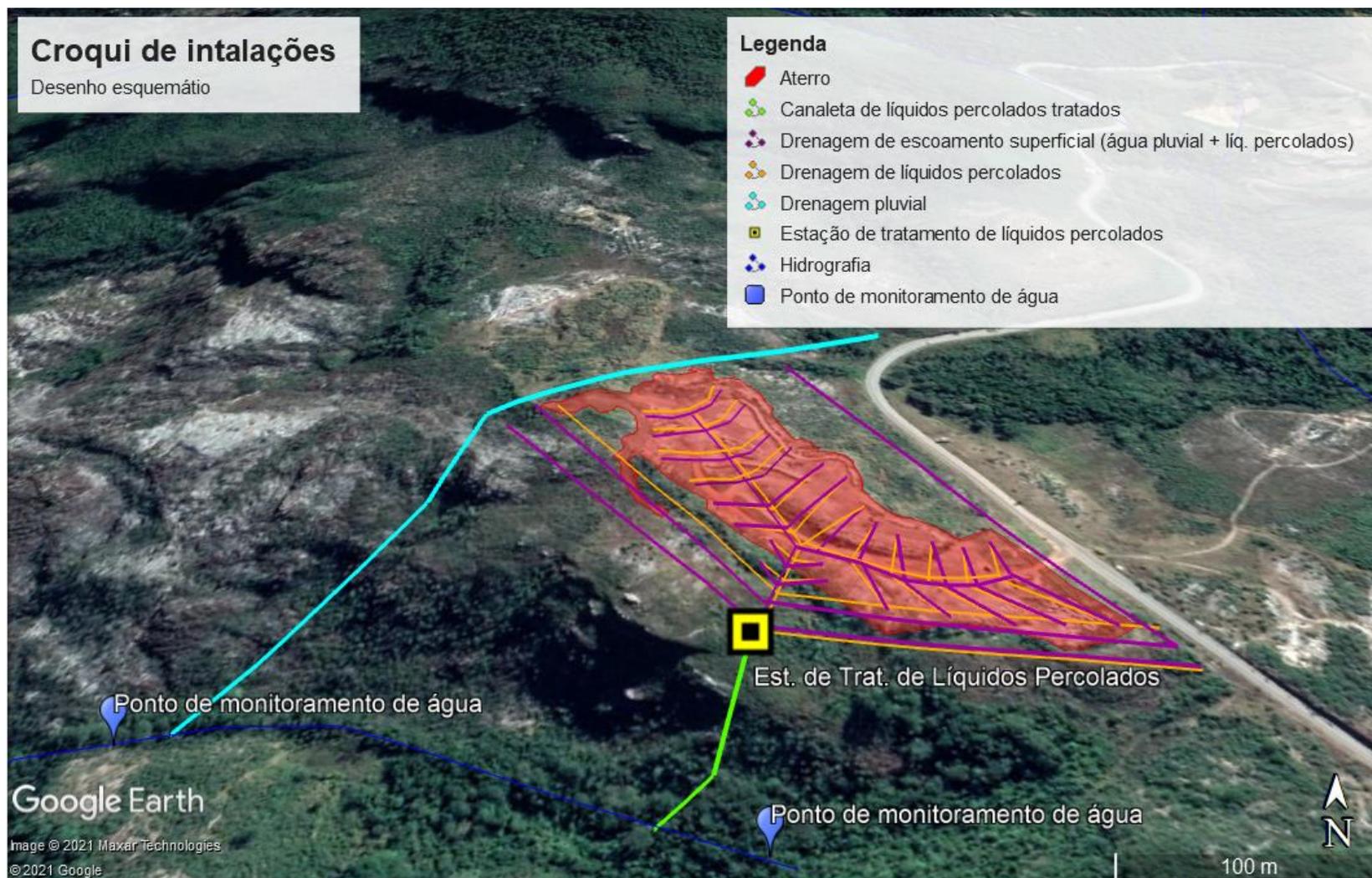
#### 5.4.6 Monitoramento Ambiental

Para a redução do potencial de contaminação ambiental do aterro controlado, é de grande relevância a concepção de um Programa de Monitoramento Ambiental contínuo, abrangente e sistemático de acompanhamento das várias instalações que fazem parte do mesmo.

#### 5.4.7 Croqui de Instalações e pontos de monitoramento de água

O desenho esquemático da Figura 76 ilustra, de forma simplificada, o croqui da área, as instalações sugeridas e os locais de monitoramento de água superficial.

Figura 76 – Croqui de instalações e pontos de monitoramento de água



Fonte: Google Earth (2021), adaptado pela autora.

#### 5.4.8 Plano de Ação e Cronograma de Execução

A Tabela 6 apresenta Plano de Ação a ser implantado de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais elaborado com base na realidade atual da prefeitura do município do aterro em estudo, conforme informações fornecidas por funcionária da Secretaria de Meio Ambiente e Gestão Urbana do mesmo.

Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais

Ação	O que fazer?	Quem fará?	Onde fazer?	Por que fazer?	Como fazer?	Quanto vai custar?	Quando fazer?
<b>Contratação de equipe para operar e monitorar o aterro</b>	Edital de processo seletivo simplificado	Prefeitura	Secretaria de Meio Ambiente e Gestão Urbana	Demanda por funcionários para operar monitorar o aterro	Lançamento de Edital e contratação por meio de processo seletivo simplificado	Não se aplica	Mês 01 e 02
	Contratação		Setor de recursos humanos			Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 03
<b>Monitoramento dos Corpos d'água Superficiais</b>	Coleta das amostras	Empresa já licitada para análises de água	Pontos de coleta próximos ao aterro	Averiguar a eficácia da redução de impactos nas águas superficiais auferidas pelas instalações do aterro	Coletar amostras nos pontos de coleta estabelecidos	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mensalmente a partir do mês 04
	Análise das amostras		Laboratório		Conforme metodologias recomendadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater		
	Análise dos resultados	Prefeitura	Escritório da prefeitura		Comparar os resultados com os parâmetros previstos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA no 357	Não se aplica	
<b>Monitoramento Ambiental</b>	Elaborar do programa de monitoramento ambiental	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Reduzir o potencial de contaminação ambiental	Considerar as obras, instalações e monitoramentos necessários	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 04
	Executar do programa de monitoramento ambiental	Prefeitura	Aterro		Acompanhar as obras, instalações e monitorar os sistemas implantados	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mensalmente a partir do mês 05

...continua.

Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais (continuação)

<b>Ação</b>	<b>O que fazer?</b>	<b>Quem fará?</b>	<b>Onde fazer?</b>	<b>Por que fazer?</b>	<b>Como fazer?</b>	<b>Quanto vai custar?</b>	<b>Quando fazer?</b>
<b>Reconfiguração Geométrica</b>	Elaborar projeto de reconfiguração geotécnica	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Possibilitar a execução do sistema de drenagem e estabilização do maciço	Realizar levantamento planialtimétrico e geotécnico	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 04
	Executar a reconfiguração geométrica	Empresa já licitada para execução de obras	Plataformas, taludes e bermas do aterro		Adicionar revestimento externo de solo, para se corrigir as medidas de altura das plataformas, inclinação dos taludes e largura e inclinação das bermas	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 05 ao 08
<b>Acompanhamento Topográfico</b>	Monitorar deformações e movimentações do maciço de resíduos	Prefeitura	Plataformas, taludes e bermas do aterro	Garantir a estabilidade do maciço de resíduos	Instalação de medidores de recalques e adição de solo de recomposição, corrigindo-se o surgimento de depressões não desejadas, devido à decomposição gradual da matéria orgânica. Além disso, deve-se realizar leituras topográficas periódicas, que ao serem lançadas em planilhas, demonstrarão as proporções e as condições de deformação das seções, permitindo reparos anteriores à ocorrência de processos de ruptura no maciço	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mensalmente a partir do mês 09

...continua.

Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais (continuação)

Ação	O que fazer?	Quem fará?	Onde fazer?	Por que fazer?	Como fazer?	Quanto vai custar?	Quando fazer?
<b>Drenagem de Líquidos Percolados</b>	Elaborar projeto de drenagem de líquidos percolados	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Prevenir a desestabilização de taludes e a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais	Estimar a produção de líquidos percolados e projetar o sistema a partir de estudo planialtimétrico	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 09
	Executar drenagem de líquidos percolados	Empresa já licitada para execução de obras	Pés e camadas dos taludes do aterro		Instalação de sistema de drenagem do tipo dreno “cego”, em diferentes profundidades na massa de resíduos, antes do selamento do aterro com solo, encaminhando o líquido percolado para o nível inferior do aterro, que deverá conter um poço de captação e bombeamento do mesmo	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 10 ao 14
<b>Estação de Tratamento de Líquidos Percolados</b>	Elaborar projeto da estação	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Depurar a carga poluidora dos líquidos percolados gerados, evitando-se a contaminação dos corpos de água	Basear na medição da vazão dos líquidos percolados	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 09
	Executar a estação	Empresa já licitada para execução de obras	Aterro		Respeitar as técnicas e dimensões propostas no projeto	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 10 ao 14
	Operar a estação	Prefeitura	Estação de Tratamento de Líquidos Percolados		Seguir normas de operação da estação	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mensalmente a partir do mês 15

...continua.

Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais (continuação)

Ação	O que fazer?	Quem fará?	Onde fazer?	Por que fazer?	Como fazer?	Quanto vai custar?	Quando fazer?
<b>Cobertura Final</b>	Elaborar projeto	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Aferir coeficiente de permeabilidade para que se estabeleça barreira física sobre a massa de resíduos, diminuindo a quantidade de águas pluviais infiltradas, acarretando na redução de líquidos percolados gerados.	Ensaio geotécnico	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 13
	Executar a cobertura final	Empresa já licitada para execução de obras	Plataformas e taludes do aterro		Compactação controlada	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 14 ao 16
<b>Drenagem Pluvial</b>	Elaborar projeto de drenagem pluvial	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Para a manutenção da estabilidade geotécnica do maciço de resíduos ao prevenir erosões, assoreamento de cursos d'água e infiltrações causadas pelas águas da chuva	Estimar a vazão de águas pluviais escoadas superficialmente para dimensionamento dos dispositivos da rede de drenagem superficial. O sistema de drenagem deverá ser projetado a partir de estudos planialtimétrico e hidrológico.	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 14
	Executar drenagem pluvial	Empresa já licitada para execução de obras	Plataformas, taludes e bermas do aterro		Nos pés dos taludes, utilizar canaletas meia cana de concreto dimensionadas com declividade e velocidade de escoamento conforme o perfil longitudinal do aterro e do terreno. Sobre o topo do maciço, nas bermas e nos taludes das plataformas, instalar canais de drenagem para captar as águas das precipitações e as encaminhar às escadas de dissipação de Colchão Reno até a cota mais baixa do aterro. Revestir as escadas com camada de concreto e dimensioná-las de acordo com o arranjo dos elementos e a inclinação dos taludes, com capacidade para receber as vazões de contribuição projetadas e proporcionar a dissipação de energia. Instalar caixas coletoras de concreto nos pés das escadas, que também servirão como bocas de lobo	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 15 ao 18

...continua.

Tabela 6 – Plano de Ação a ser implantado no aterro em estudo de forma a minimizar os impactos nas águas superficiais (continuação)

Ação	O que fazer?	Quem fará?	Onde fazer?	Por que fazer?	Como fazer?	Quanto vai custar?	Quando fazer?
<b>Monitoramento da Eficácia do Tratamento de Líquidos Percolados</b>	Coleta das amostras	Empresa já licitada para análises de água	Líquido bruto e efluente da unidade do sistema de tratamento	Aferir a eficiência dos métodos empregados na estação de tratamento de líquidos percolados	Coletar amostras do líquido bruto e efluente da unidade do sistema de tratamento	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mensalmente e a partir do mês 15
	Análise das amostras		Laboratório		Conforme metodologias recomendadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater		
	Análise dos resultados	Prefeitura	Escritório da prefeitura		Avaliar comparativamente os resultados das análises físico-químicas do líquido bruto e do efluente da unidade do sistema de tratamento, considerando os padrões de lançamentos de efluentes de fontes poluidoras e a eficiência de tratamento para sistemas de percolados de aterros sanitários municipais estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008	Não se aplica	
<b>Recomposição Vegetal dos Taludes</b>	Elaborar projeto de recomposição vegetal	Empresa já licitada para elaboração de projetos	Escritório da prefeitura	Conferir estabilidade geotécnica aos taludes, prevenir sua erosão e assoreamento de corpos d'água, diminuir a quantidade de águas de chuvas que infiltram no interior da massa de resíduos devido à evapotranspiração, além de melhorar a paisagem e atração de fauna silvestre	Definir espessura da camada de solo orgânico, tipo e proporção de adubação e definição das espécies nativas a serem plantadas	Custo a ser estimado de acordo com o escopo da ação	Mês 16
	Realizar o plantio de espécies nativas sobre os taludes	Prefeitura	Taludes do aterro		Introduzir uma camada de solo orgânico, realizar a adubação e o plantio de espécies nativas	Não se aplica	Meses 17 e 18

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 7 sugere o cronograma físico para realização dos serviços de implantação de melhorias estruturantes e recuperação no aterro controlado em estudo.

Tabela 7 - Cronograma físico de execução de obras de recuperação do aterro controlado em estudo

Ação	1ª Etapa			2ª Etapa			3ª Etapa			4ª Etapa			5ª Etapa			6ª Etapa		
	Mês 01	Mês 02	Mês 03	Mês 04	Mês 05	Mês 06	Mês 07	Mês 08	Mês 09	Mês 10	Mês 11	Mês 12	Mês 13	Mês 14	Mês 15	Mês 16	Mês 17	Mês 18
Contratação de equipe para operar e monitorar o aterro	■	■	■															
Monitoramento dos Corpos d'água Superficiais				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Monitoramento Ambiental				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Reconfiguração Geométrica				■	■	■	■	■										
Acompanhamento Topográfico									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Drenagem de Líquidos Percolados									■	■	■	■	■	■				
Estação de Tratamento de Líquidos Percolados									■	■	■	■	■	■				
Cobertura Final													■	■	■	■		
Drenagem Pluvial														■	■	■	■	■
Monitoramento da Eficácia do Tratamento de Líquidos Percolados															■	■	■	■
Recomposição Vegetal dos Taludes																■	■	■

Fonte: Autora (2021).

## 6 CONCLUSÕES

A disposição final atual dos resíduos sólidos urbanos do município situado na Região Central de Minas Gérias é efetuada em um aterro controlado. No entanto, o aterro controlado não atende às premissas da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, uma vez que não se trata de um aterro sanitário.

Dentre os impactos observados, os líquidos percolados migram, juntamente com as águas pluviais e escoam do maciço de resíduos e fluem diretamente para as áreas vizinhas, provocando, dessa forma, sua contaminação e assoreamento.

Junto a isso, a cobertura dos resíduos não tem sido realizada com frequência adequada fazendo com que os resíduos fiquem expostos, exalando odores e atraindo vetores, além de proporcionar o espalhamento de resíduos pelo vento.

Em algumas áreas, a cobertura final no maciço foi executada de forma inadequada - sem um projeto técnico, ocasionando erosões que acabam contribuindo para que os resíduos fiquem expostos e facilitem a migração de líquidos.

Vale ressaltar também, que não foi executado um sistema de impermeabilização de base que garantisse a estanqueidade do aterro e que impedisse a infiltração de líquidos percolados no solo, no início da utilização da área, podendo contribuir para a contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Logo, a condição precária do aterro controlado do município gera um ambiente propício à proliferação de vetores e contaminação do ar, solo e água, colocando em risco o meio ambiente.

Foi verificado pela topografia da região, que o aterro está em uma cota mais elevada que os corpos de água próximos, o que aumenta o potencial de contaminação dos mesmos por escoamento superficial, pois se localizam em fundos de vales.

Foi visto também, que o solo do aterro controlado indica ser permeável e pouco espesso, aliado à presença de gradiente topográfico, acarretando maior fluxo dos poluentes quando em contato com sua área saturada. Além disso, tem textura mais arenosa, o que é de se esperar que o mesmo não seja um bom retentor de metais.

A presença de vegetação e mata ciliar no entorno do aterro, oferece ao solo e corpos hídricos, proteção contra contaminação proveniente dos poluentes produzidos pelo mesmo.

Sabendo que os cursos de água são um integrador dos eventos que ocorrem na bacia, passíveis de serem analisados pelos parâmetros de qualidade hídrica, a

escolha dos pontos de coleta de água próximos ao aterro considerou sua bacia de drenagem.

Além disso, a escolha se baseou na distância e na diferença de cota altimétrica entre o aterro controlado e os corpos de água e na topografia. Foram determinados 5 locais de coleta de amostras de água, sendo 4 em cotas inferiores ao do aterro e em bacias de interferência do aterro e 1 em cota acima e fora das bacias de influência do mesmo, servido de ponto controle. As características da água deste ponto indicam as características naturais da região.

As análises laboratoriais realizadas nas épocas de seca e chuva demonstraram que altos valores de DBO, de fósforo, de cromo e de ferro, e pH baixo podem ser consideradas como condições naturais das águas superficiais da região, pois foram detectados tanto nos pontos 1, 2, 3 e 4, quanto no ponto controle. A existência de registros de direitos minerários no município do aterro para cromo, minério de ferro e fosfato acionados por mineradoras, confirma a abundância de disponibilidade desses no território.

O solo arenoso da região do aterro e a grande concentração de metais nas amostras de água, corrobora com a associação de que solos mais argilosos são capazes de remover metais. Além disso, o solo raso da região, apresentando muitas vezes uma camada impermeável formada de rocha, possivelmente seja o responsável pelos altos índices de DBO, inclusive para o ponto controle, favorecendo o escoamento superficial da matéria orgânica até os corpos hídricos ao invés de infiltração, fenômeno que contribuiria para a remoção da mesma.

As águas mais alcalinas, com pH mais elevado dos pontos 1, 2, 3 e 4 do que do ponto controle, oferecem indícios da presença de líquidos percolados do aterro. Além do mais, os pontos 1, 2, 3 e 4, em algum período do ano, não atenderam os padrões de coliformes termotolerantes, de níquel, de cobre e de zinco para corpos de água Classe 2, estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005a), enquanto o ponto controle atendeu.

No período chuvoso, estação em que o ponto controle foi coletado, no geral, esse ponto apresentou concentrações menores dos elementos analisados do que nos pontos 1, 2, 3 e 4. Além disso, os valores dos parâmetros coliformes termotolerantes, alcalinidade, sódio, cálcio, potássio, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, pH, dureza e níquel foram maiores do que no ponto controle em todos os pontos (1, 2, 3 e 4), simultaneamente, ou iguais em apenas um dos quatro

pontos e maiores nos outros três, também sendo um indício de possível contaminação provocada pelo aterro controlado.

A concentração de níquel no ponto controle encontrou-se muito abaixo do encontrado nos pontos 1, 2, 3 e 4, além destes estarem acima do limite estabelecido na legislação. O mesmo ocorreu com a concentração de cobre nos pontos 1, 2 e 3 e com a concentração de zinco nos pontos 1 e 3. Esses também podem ser indícios de que está havendo contaminação dos corpos de água devido à presença do aterro controlado.

O parâmetro DQO é um bom parâmetro para indicar contaminação pelo aterro, pois no caminho dos líquidos percolados até os corpos hídricos, as substâncias menos resistentes à oxidação por microrganismos já foram degradadas, predominando as que ainda poderão sofrer oxidação química. No caso em análise, a DQO foi maior nos pontos 2, 3 e 4, em relação ao ponto controle, podendo também ser indício de contaminação pelo aterro.

O fato de nas proximidades do aterro e dos corpos hídricos analisados não haver comunidades, empreendimentos e indústrias, apenas pequenas pastagens, corrobora com a indicação das contaminações provenientes do aterro controlado.

Dessa forma, diante dos indícios, foram sugeridas como medidas corretivas a serem executadas no encerramento do aterro controlado em estudo, de maneira a minimizar o potencial de contaminações futuras aos corpos hídricos superficiais a reconfiguração do terreno, a execução de drenagem e o tratamento de líquidos percolados, a execução de drenagem de águas pluviais, a plantio nos taludes e o monitoramento dos corpos d'água superficiais.

Assim, cabe ao poder público o exercício do planejamento municipal considerando a questão dos resíduos sólidos como um instrumento do desenvolvimento político e de sustentabilidade econômica e ambiental, no sentido de providenciar a execução de medidas de redução de impactos ambientais provocados pelo aterro controlado.

## 7 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Para se ter uma maior clareza do impacto que o aterro, efetivamente, está causando nos recursos hídricos superficiais, seriam necessárias mais campanhas de coleta, além de análises do solo adjacente e em pontos mais afastados, que não sofrem influência do aterro, para verificar se os elementos encontrados nas águas superficiais são naturais do solo ou se vieram realmente dos líquidos percolados do aterro, além da constatação de presença de contaminação do solo.

Para a escolha do tipo de estação de tratamento de líquidos percolados, seria interessante testar, em escala de bancada, a eficiência de diferentes métodos de remoção de poluentes, utilizando-se o próprio líquido gerado no aterro para se chegar ao método mais eficiente para esse tipo de percolado em específico.

Após a instalação da estação de tratamento de líquidos percolados, é fundamental realizar o monitoramento da qualidade do efluente, para avaliar a eficiência do método adotado na remoção de poluentes.

Para possibilitar outras propostas de melhorias da situação do aterro, de forma ainda mais abrangente, um estudo relacionado à contaminação das águas subterrâneas seria muito importante.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1985.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, ABRELPE, 2019.
- ALLEN, A. Containment landfills: the myth of sustainability. **Engineering Geology**, v. 60, Issues 1-4, jun., 2001.
- ALMEIDA, T. L. **Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviado em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2009. 192 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2009.
- APHA. American Public Health Association; AWWA. American Water Works Association; WEF. Water Environment Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23th. ed. Washington DC, 2017.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.
- BASTOS, R. G. P. **Mapeamento por método geofísico das camadas permeáveis na área do complexo de destino final dos resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém**. 1991. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.
- BECKER, L. C.; PEREIRA, D. C. O projeto Minas-Rio e o desafio do desenvolvimento territorial integrado e sustentado: a grande mina em Conceição do Mato Dentro (MG). *In: Recursos minerais e sustentabilidade territorial*. Grandes minas. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. v. 1. p. 229-258.
- BENVENUTO, C. Resíduos sólidos em pequenas comunidades: aspectos construtivos e ambientais, vantagens e desvantagens. *In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS – RESID*, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2004.
- BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores**: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. 2011. 275 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BISORDI, M. S. *et al.* O Processo de Transformação de Lixão em Aterro Sanitário. *In: II SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS*, ABGE, São Paulo, SP., 29- 30, abr. 2004. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2004. 1v.

BOSCH. J. M.; HEWLETT. J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, Issues 1-4, fev. 1982, p. 3-23.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 2.312, de 3 de setembro de 1954. Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde. (Revogada pela Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990). **Diário Oficial da União**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/l2312.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l2312.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional de Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005a. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005b. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Nota Técnica nº 24/2015/CEPTA/DIBIO/ICMBIO**, de 24 de novembro de 2015. Dispõe sobre as consequências parciais na biodiversidade aquática da bacia do Rio Doce, provocadas pelo rompimento das barragens de rejeitos de mineração da SAMARCO MINERADORA S.A no município de Mariana, MG. 2015. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/Documentos/nota\\_tecnica\\_\\_24\\_2015\\_CEPTA\\_ICMBio.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/Documentos/nota_tecnica__24_2015_CEPTA_ICMBio.pdf). Acesso em: 02 maio 2021.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos: o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

CASAGRANDE, E. **Avaliação da eficiência de rochas de arenito como meio filtrante em filtros anaeróbios para tratamento de chorume**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina, 2006.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Coord.) **Resíduos sólidos urbanos: aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 3-7.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**, 2016. São Paulo: CETESB, 2017.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação**. 2014. 340 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2014.

DAHMER, D. I. E.; SOARES, P. R. **Determinação de metais pseudo-totais e disponíveis em solo e sedimentos em um lixão desativado no Município de Medianeira – PR**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Tecnologia Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, 2018.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Signus, 2007. cap. 1, p. 5.

DRUMMOND, G. M. *et al.* **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.

EL-FADEL, M.; FINDIKAKIS, A. N.; LECKIE, J. O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, E.U.A. **Journal of Environmental Management**, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Neossolos Litólicos**. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html). Acesso em: 22 jan. 2021.

FAPUR. Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Tamoios**. Fase 1. Encarte 5 – Diagnóstico da UC. Jan. 2006. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/esectamoios/images/stories/plano\\_de\\_manejo/Encarte\\_5.1.pdf](https://www.icmbio.gov.br/esectamoios/images/stories/plano_de_manejo/Encarte_5.1.pdf). Acesso em: 22 jan. 2021.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018**. Belo Horizonte: FEAM, 2019.

FIGUEIRÊDO, C. S. **Caracterização físico-química e microbiológica da lagoa de polimento e das lagoas do entorno do aterro sanitário de Pontal do Paraná**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, Paraná, 2008.

FUNEC. Fundação Educacional de Caratinga. **Plano municipal de saneamento básico (PMSB) do município de Conceição do Mato Dentro – MG**. Conceição do Mato Dentro: FUNEC, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento: Manejo de Resíduos Sólidos**, 2011. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap9.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap9.pdf). Acesso em: 22 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Conceição do Mato Dentro**, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/conceicao-do-mato-dentro.html>. Acesso em: 22 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE 2000.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE 2008.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2016**, 2016. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2016/estimativa\\_dou\\_2016\\_20160913.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.pdf). Acesso em: 10 set. 2020.

ISWA. International Solid Waste Association. **Roteiro para encerramento de lixões: os lugares mais poluídos do mundo**, 2017. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/pdfs/publicacoes/roteiro-para-encerramento-de-lixoes.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.

KOSHY, L. *et al.* Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfills – assessment of toxicity. **Science of the Total Environment**, 384., 171-181, 2007.

LIMA, J. S. **Avaliação da Contaminação do Lençol Freático do Lixão do Município de São Pedro Da Aldeia – RJ**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)**. 2007. 394 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MACFARLANE, I. C. Gas explosion hazards in sanitary landfills. **Public Works**, 101, 76-78, 138, 1970.

MASSUKADO, L. M.; SCHALCH. V. Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. **Revista DAE**, 183. Planaltina, p. 9-15, mai. 2010.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, Porto Alegre, v. 3, nº 4, p. 33-38, out./dez., 2002.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, de 3 de maio de 2008a. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Deliberação Normativa COPAM nº 118, de 27 de junho de 2008b. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Deliberação Normativa COPAM nº 171, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece diretrizes para sistemas de tratamento e disposição final adequada dos resíduos de serviços de saúde no Estado de Minas Gerais, altera o anexo da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=20095>. Acesso em: 02 maio 2021.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal de Conceição do Mato Dentro. **Plano de implantação de melhorias estruturantes e operacionais no aterro controlado do município de Conceição do Mato Dentro – MG**. Volume I. Belo Horizonte, fev., 2018.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal de Conceição do Mato Dentro. **Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Conceição do Mato Dentro – MG**. Conceição do Mato Dentro, abr., 2017. Disponível em: [http://cmd.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/PMSB\\_Rev.-Final.pdf](http://cmd.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/PMSB_Rev.-Final.pdf). Acesso em: 10 set. 2020.

MONCADA, M. P. H. **Estudo em laboratório de características e colapso e transporte de solutos associadas à infiltração de licor cáustico em um solo laterítico**. 2004. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MORAES, P. B.; BERTAZZOLI, R. Degradação fotoelétrica de chorume de lixo gerado em aterros sanitários. *In*: III WORKSHOP BRASIL-JAPÃO, 2005, Campinas. III Workshop Brasil Japão: energia, meio ambiente desenvolvimento sustentável. **Anais...** Campinas: CORI – Unicamp, v. 1, 2005, p. 24-24.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá – Belém-PA**. 2002. 240 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/8163>. Acesso em: 02 maio 2021.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

NAGALLI, A. **Diagnóstico e Avaliação dos Impactos Ambientais de Aterros de Disposição de Resíduos no estado do Paraná – Estudo de Caso dos Municípios**

**de Jacarezinho e Barra do Jacaré.** 2005. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NYSTRAND, M. I.; OSTERHOLM, P.; YU C.; ASTROM M. Distribution and speciation of metals, phosphorus, sulfate and organic material in brackish estuary water affected by acid sulfate soils. **Applied Geochemistry**, 2016, 66, 264.

O'LEARY, P.; WALSH, P. Leachate control and treatment. **Solid waste landfill correspondence course**, v. 2, 1997.

OBLADEN, N. L. **Aterro Sanitário para Resíduos Sólidos Urbanos.** Curitiba: FEAPAR, 2004.

OLIVEIRA, G. P. C. **Modelagem hidrológica apoiada por sistema de informações geográficas.** 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2015.

PEREIRA, A. R. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** Taubaté, v. 8, nº 3, p. 239-246, set./dez., 2013.

PRITCHETT, Q. L; **Properties and management of forest soils.** New York: John Wiley, 1979.

QASIM S. R.; CHIANG. W. **Sanitary Landfill Leachate: generation, control and treatment.** Lancaster: Technomic Publishing Company, 1994.

RAMOS, S. I. P. **Sistematização Técnico-Organizacional de Programas de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná.** 2004. 229 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2004.

SANCHEZ, L. E. **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

SANTOS, I. P. O.; FIGUEIREDO, R. O. **Perda de nutrientes por escoamento superficial em microbacias do nordeste paraense sob uso agrícola.** In: SEMINÁRIO [DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA] DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2009, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: UFRA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

SANTOS, L. C. **A questão dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem socioambiental com ênfase no município de Ribeirão Preto (SP).** 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, São Paulo, 2004.

SCHALCH, V. **Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano.** 1984. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1984.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. Caracterização do chorume do Aterro Sanitário de Bauru. *In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais...* Porto Alegre: ABES, 2000.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. *Acta Amazonica*, v. 43 (1), p. 51 – 62, 2013.

SIQUEIRA, H. O. **Estudos na conservação de espécies de peixes do rio Santo Antônio, bacia do rio Doce**. 2019. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto do Biociências de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 2019.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cad. Saúde Pública* [on-line]. 1996, vol. 12, nº 4, p. 515-523.

\_\_\_\_\_; OLIVEIRA, R. M. (Orgs.) **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento/Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020. 244 p. : il

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Minas Gerais: UFMG, 2009.

STANDARD methods for examination of water and wastewater. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

TARTARI, L. C. **Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume do Aterro Sanitário de Novo Hamburgo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Luterana do Brasil, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2003.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, Inc, 993, 978 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*, v. 2, nº 1 jan./jun., 1997, p. 135-152.

VIEIRA, F. **A ictiofauna do Rio Santo Antônio, Bacia do Rio Doce, MG: Proposta de conservação**. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006.

WADT, P. G. S. (Ed.) **Sistema de plantio direto e controle de erosão no estado do Acre**. Acre: Embrapa Acre, 2007.

YONG, R. N. *et al.* Partitioning of heavy metals on soil samples from column tests. *Engineering Geology*, v. 60, p. 307-322, 2001.

ZANTA V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. *In*: CASTILHOS JÚNIOR, A. B. *et al.* (Orgs.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte** / Armando Borges de Castilhos