



Produto 3

COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



Julho - 2020

Município de Montes Claros - MG



O município de Montes Claros busca melhorias da eficiência e da sustentabilidade econômica dos serviços de resíduos sólidos para alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental assegurando o progresso e o bem-estar da atual e das futuras gerações de seus cidadãos.



**PLANO MUNICIPAL
DE GESTÃO INTEGRADA
.....
DE RESÍDUOS SÓLIDOS**



PREFEITURA DE MONTES CLAROS
Humberto Guimarães Souto
Prefeito
Guilherme Augusto Guimarães Oliveira
Vice-Prefeito

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
AGRICULTURA E ABASTECIMENTO**
Osmani Barbosa Neto
Secretário de Agricultura e
Abastecimento

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
SERVIÇOS URBANOS**
Guilherme Augusto Guimarães Oliveira
Secretário de Serviços Urbanos

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
DESENVOLVIMENTO SOCIAL**
Aurindo José Ribeiro
Secretário de Desenvolvimento Social

**SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO
AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**
Soter Magno Carmo
Secretário de Meio Ambiente e
Desenvolvimento Sustentável

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
INFRAESTRUTURA E
PLANEJAMENTO URBANO**
Vanderlino José da Silveira
Secretário de Infraestrutura e
Planejamento Urbano

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
SAÚDE**
Dulce Pimenta Gonçalves
Secretária de Saúde

**EMPIA EMPRESA DE PROJETOS
INDUSTRIAIS E AMBIENTAIS LTDA.**
(Consultoria Ambiental)
Eng^a. Civil Liése Pereira Vasconcelos
Sócia-Proprietária

**SECRETARIA MUNICIPAL DE
FINANÇAS**
Willian César Rocha
Secretário de Finanças



SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
1. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	7
1.1.DADOS INICIAIS	9
1.1.1. GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	10
1.1.2. CAPACIDADE VOLUMÉTRICA DO ATERRO.....	12
1.1.3. ÁREA DO TERRENO.....	16
2. PRÉ-IMPLANTAÇÃO	22
2.1. AQUISIÇÃO DO TERRENO	24
2.1.1. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários.....	24
2.1.2. Terreno:.....	29
2.1.3. Registro de imóveis:.....	30
2.1.4. Custo com processo de compra/desapropriação:	30
2.2. ESTUDOS INICIAIS	31
2.2.1. Levantamento planaltimétrico cadastral	31
2.2.2. Sondagem do solo:	32
2.2.3. Implantação de poços de monitoramento de água subterrânea:	32
2.2.4. Análises de qualidade das águas superficiais:.....	33
2.3. LICENCIAMENTO AMBIENTAL	34
2.4. PROJETO EXECUTIVO.....	35
3. IMPLANTAÇÃO	40
3.1. CERCAMENTO DA ÁREA.....	40
3.1.1. Cerca que circunde completamente a área:.....	41
3.1.2. Portão:.....	41
3.1.3. Placa de aço esmaltada:	41
3.1.4. Cerca viva	42
3.2. SERVIÇOS DE LIMPEZA DA ÁREA.....	43
3.2.1. Limpeza mecanizada de camada vegetal, vegetação e pequenas árvores com trator de esteiras:	43
3.2.2. Remoção de raízes remanescentes de tronco de árvore:.....	43



3.3.	SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM.....	44
3.3.1.	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria:	45
3.3.2.	Execução e compactação de aterro:	45
3.4.	SERVIÇOS DE MONTAGEM ELETROMECCÂNICA.....	46
3.5.	ESTRADAS DE ACESSO E DE SERVIÇO.....	46
3.5.1.	Acesso externo e interno:.....	47
3.6.	SERVIÇOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	47
3.6.1.	Fornecimento e aplicação de geocomposto bentonítico:	50
3.6.2.	Espalhamento de solo de confinamento (solo fino) sobre geocomposto bentonítico:	50
3.6.3.	Fornecimento e aplicação de manta de pead de 2,0 mm:.....	50
3.6.4.	Geotêxtil de proteção (300 g/m ²) sobre a manta Pead:.....	51
3.6.5.	Espalhamento de solo fino sobre geotêxtil (20 cm):.....	51
3.7.	SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	52
3.8.	SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DO LÍQUIDO PERCOLADO	53
3.8.1.	Colchão drenante:	56
3.8.2.	Drenos principais:.....	57
3.8.3.	Drenos secundários:	57
3.8.4.	Poços de coleta:.....	57
3.8.5.	Bomba para percolado:	58
3.8.6.	Lagoas de acumulação	58
3.8.7.	Posto de carregamento/recalque do percolado:.....	58
3.9.	SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E QUEIMA DE GASES.....	60
3.9.1.	Rede de captação	61
3.9.2.	Sistema de queima de biogás	62
3.10.	SERVIÇOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	64
3.11.	SERVIÇOS COMPLEMENTARES.....	65
3.11.1.	Viveiro de mudas:	66
3.11.2.	Estação meteorológica:.....	66
3.11.3.	Sistema de energia para o aterro:.....	66



3.11.4. Telefonia e internet:	67
3.11.5. Plantio de grama em placas:.....	68
3.11.6. Plantio de árvores	68
4. OPERAÇÃO	74
4.1. EQUIPAMENTOS	74
4.2. MÃO DE OBRA DIRETA.....	76
4.3. MÃO DE OBRA INDIRETA	77
4.4. SISTEMA DE DRENAGEM DE PERCOLADO/BIOGÁS.....	79
4.4.1 Dreno horizontal de percolado:	79
4.4.2 Dreno vertical de percolado:	80
4.5. COBERTURA OPERACIONAL DOS RESÍDUOS.....	82
4.6. SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL DAS ÁGUAS INCIDENTES SOBRE O ATERRO.....	83
4.6.1 Drenagem de patamares, pistas (canaleta 400mm):	83
4.6.2 Tubo de concreto para atravessar pistas:	84
4.6.3 Descida d'água nos taludes (canaleta de gabião manta):	85
4.6.4 Caixas de dissipação no pé de cada gabião manta:	86
4.7. TRATAMENTO DE PERCOLADO	87
4.8. INSTRUMENTAÇÃO.....	89
4.8.1 Piezômetros:	90
4.8.2 Marcos superficiais:	90
4.9. MANUTENÇÃO EM GERAL	92
4.9.1 Vias Externas/Vias Gerais internas:.....	92
4.9.2 Manutenção da sinalização:.....	93
4.9.3 Manutenção das canaletas de drenagem superficial sobre resíduos:....	93
4.9.4 Manutenção de cercas:.....	96
4.10. CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA, ÁGUA, TELEFONE E INTERNET	97
4.11. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO.....	99
4.11.1 Sistema de monitoramento das águas subterrâneas:	99



4.11.2 Monitoramento e análise de águas superficiais:	100
4.11.3 Monitoramento e análise de percolado:	100
4.11.4 Monitoramento geotécnico:	101
4.11.5 Monitoramento da qualidade do ar e emissões gasosas.	101
4.12. VIGILÂNCIA	102
4.13. DESPESAS ADMINISTRATIVAS	103
4.14. OPERAÇÃO DO SISTEMA CENTRALIZADO DE COLETA E QUEIMA DE BIOGÁS	105
5. ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO	112
6. PÓS-ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO	115
6.1. SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS	118
6.2. MANUTENÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL.....	119
6.3. MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	120
7. CONCLUSÃO	124
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126



APRESENTAÇÃO

A Lei nº 12.305 de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos visando à gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, sendo um de seus instrumentos os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) é um instrumento de planejamento, com horizonte de 20 anos ou mais. O PMGIRS tem o objetivo principal de promover o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos no município, bem como prever soluções integradas para os diversos tipos de resíduos no município, tornando-se indispensável para o manejo e a gestão de resíduos sólidos adequados.

Além disso, de acordo com o artigo 18 da Lei nº 12.305/2010, para que os municípios tenham acesso a recursos da União, bem como incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento destinados a serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, é necessário a elaboração do PMGIRS.

O PMGIRS deve fazer um retrato da situação atual da gestão de resíduos sólidos no município e permitir que seja traçada uma meta a ser alcançada, sendo assim, instrumento de um processo de gestão participativa dos resíduos sólidos do Município.

O plano levará em consideração aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos, priorizando atender requisitos ambientais, sociais, culturais, econômicos, tecnológicos e de saúde pública, para que a população tenha uma melhoria na qualidade de vida.

O conteúdo mínimo do Plano, de acordo com o artigo 19º da Lei nº 12.305 – PNRS está distribuído dentro dos seguintes produtos conforme o Manual de Referência da **PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTES CLAROS – MG** para elaboração do PMGIRS. De modo a facilitar o acompanhamento de sua elaboração, este será dividido em 8 Produtos, quais sejam:



- Produto 1 – Plano de Trabalho;
- Produto 2 – Diagnóstico Municipal Participativo;
- **Produto 3** – Estudo detalhado da composição de custos da disposição final de resíduos sólidos urbanos (implantação, operação, encerramento e monitoramento);
- Produto 4 - Prognósticos;
- Produto 5 - Versão Preliminar do PMGIRS;
- Produto 6 - Versão Final do PMGIRS;
- Produto 7 - Relatório Síntese do PMGIRS;
- Produto 8 – Projeto de Lei.

Este documento constitui o Produto 3 – Estudo detalhado da composição de custos da disposição final de resíduos sólidos urbanos (implantação, operação, encerramento e monitoramento), para a elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) para o município de Montes Claros-MG.



1. DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída pela Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, define que a disposição final ambientalmente adequada é “a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança com o fim de minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010).

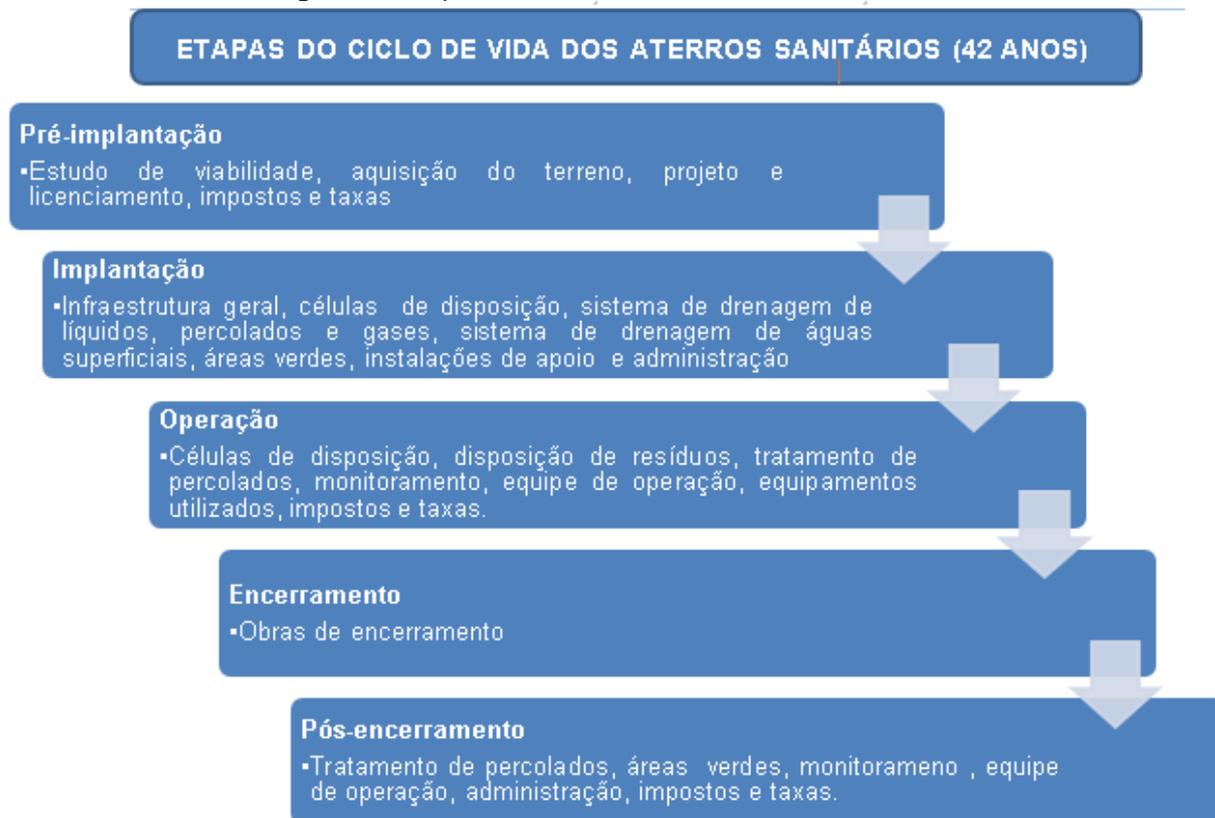
Dessa forma, o aterro sanitário é considerado atualmente a forma mais adequada ambientalmente e mais viável economicamente para a descarte dos resíduos sólidos urbanos. Isso porque um aterro sanitário, diferentemente do lixão, é “fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública” (CEMPRE, 2018).

A NBR 8.419 (1992), define aterro sanitário como,

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que 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”.

Assim, para a construção de um aterro sanitário é necessário obedecer a diversas legislações e normas vigentes para que o mesmo cumpra com a função de confinar os resíduos sólidos de forma segura. Durante todo o ciclo de vida do aterro, tudo é realizado em etapas, sendo elas a pré-implantação, a implantação, a operação, o encerramento, o pós-encerramento e o monitoramento (que deve ocorrer durante toda a vida útil do aterro, e após o encerramento). A Figura 1 apresenta um resumo das etapas do ciclo de vida dos aterros sanitários.

Figura 1 – Etapas do ciclo de vida dos aterros sanitários.



Fonte: Adaptado de ABETRE (2009).

A Figura 2 apresenta a distribuição percentual dos custos das etapas de viabilização do aterro. De acordo com um estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) e a Fundação Getúlio Vargas (FGV), o horizonte de tempo total para o investimento em aterros sanitários é de 40 anos, incluindo o pós-encerramento. Assim, como mostra a Tabela 1, os custos iniciais do aterro são somente com a pré-implantação e a implantação, e os investimentos na etapa de operação são divididos ao longo de 20 anos, o que representa 5% ao ano. A etapa de encerramento ocorre ao longo do ano 20, e o pós-encerramento é entre o ano 21 e o ano 40, à taxa de investimento de 5% ao ano.



Figura 2 - Distribuição percentual dos custos das etapas de viabilização de um aterro

<i>Etapas do aterro</i>	<i>Ano 1</i>	<i>Ano 2</i>	<i>Anos 3 a 22</i>	<i>Ano 23</i>	<i>Anos 24 a 42</i>
<i>Pré-implantação</i>	100%				
<i>Implantação</i>		100%			
<i>Operação</i>			5%		
<i>Encerramento</i>				100%	
<i>Pós-encerramento</i>				5%	5%

Fonte: ABETRE, 2009.

Para o aterro de Montes Claros e para esta estimativa de custos sugere-se a distribuição dos custos e despesas ao longo do tempo da forma descrita a seguir:

- Pré-Implantação: do 1º ao 2º ano, o que corresponde ao ano de 2021 a 2022;
- Implantação: do 1º ao 20º ano, correspondente ao ano de 2021 a 2040;
- Operação: do 3º ao 20º ano, que se dará início no ano de 2023 a finalização em 2040;
- Fechamento: do 3º ao 20º ano, decorrerá durante toda a operação, ou seja, de 2023 a 2040;
- Pós-Fechamento: do 21º ao 40º, excedendo o ano de 2041 até o ano de 2060.

A Tabela 1 apresenta as atividades ao longo dos meses para o aterro de Montes Claros.

Tabela 1 – Resumo das atividades ao longo do tempo.

Distribuição das atividades ao longo do tempo		
Atividades	Cronograma	Prazo total
Execução dos projetos, obtenção das licenças ambientais (Licença previa, licença de instalação e licença de operação) e serviços correlatos.	De 2021 a 2023	24 meses
Construção da 1ª célula de resíduos	Primeiro semestre de 2023	6 meses
Operação, manutenção do aterro, com construção células sequenciais de ampliação necessárias e fechamento final dos resíduos já topograficamente encerradas.	De 2023 a 2040	216 meses
Pós fechamento	De 2040 a 2060	240 meses

Fonte: EMPIA, 2020.

1.1. DADOS INICIAIS



1.1.1. GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Para que esse estudo fosse elaborado, foi tomado como base dados levantados no Produto 02 do PMGIRS (Diagnósticos), esses dados referem-se à quantidade de resíduos dispostos atualmente em Montes Claros-MG no Aterro Sanitário da Viasolo, assim como a projeção populacional do município e seu potencial crescimento ao longo dos próximos 20 anos.

Para calcular a projeção da geração de resíduos, deve-se realizar a projeção tanto da população, quanto do índice de geração *per capita* de resíduos no município. Utilizou-se a projeção da população de Montes Claros-MG detalhada no Produto 2 deste PMGIRS e também na Planilha 1 deste produto 3 que será disponibilizada para a Prefeitura. O índice de geração de resíduos sólidos *per capita* de Montes Claros-MG em 2019, conforme Produto 2 deste PMGIRS é de 0,54 kg/hab*dia. A projeção deste índice será dada por:

$$Gpercapita_t = Gpercapita_{t-1} + (0,48\% * Gpercapita_{t-1})$$

Onde:

- $Gpercapita_t$ é o índice de geração de resíduos sólidos *per capita* no ano “t” (kg/hab*dia);
- $Gpercapita_{t-1}$ é o índice de geração de resíduos sólidos *per capita* no ano anterior ao ano “t” (kg/hab*dia);
- 0,48% é o aumento da geração *per capita* de RSU entre 2017 e 2018 em Montes Claros (SNIS, 2019), baseado nos indicadores de produção *per capita* de resíduos sólidos descrito no Produto 2.

Exemplificando, o índice de geração *per capita* de Montes Claros – MG em 2019 é de 0,54 kg/hab*dia, como mencionado anteriormente. Então, o cálculo do índice de geração *per capita* do ano de 2020 é de:

$$Gpercapita_{2020} = Gpercapita_{2019} + (0,48\% * Gpercapita_{2019})$$

$$Gpercapita_{2020} = 0,54 + (0,48\% * 0,54)$$

$$Gpercapita_{2020} = 0,543$$



Assim, o cálculo do índice de geração *per capita* dos anos seguintes seguirá os mesmos passos.

Para iniciar a composição de custos da disposição final de resíduos sólidos em aterro sanitário, primeiramente deve-se determinar a projeção da geração de resíduos a serem dispostos no aterro sanitário. A geração de resíduos dispostos no aterro é calculada pela fórmula a seguir:

$$Gr_t = (Pop_t * Gpercapita_t)/1000$$

Onde:

- Gr_t é a geração de resíduos dispostos no aterro no ano “t” (ton/dia);
- Pop_t é a população no referido ano (habitantes);
- $Gpercapita$ é o índice de geração *per capita* de resíduos em Montes Claros-MG no referido ano (kg/hab*dia).

Para efeito de demonstração, o cálculo da geração de resíduos dispostos no aterro no ano de 2020 é:

$$Gr_{2020} = (Pop_{2020} * Gpercapita_{2020})$$

$$Gr_{2020} = (427.441 * 0,543)$$

$$Gr_{2020} = 231.926 \text{ Kg/dia}$$

Porém, por serem grandes valores, é mais viável usar os valores em toneladas.

Assim:

$$Gr_{2020} = 231.926/1000$$

$$Gr_{2020} = 231,926 \text{ t/dia}$$

Dessa maneira, a geração de resíduos dispostos no aterro, em 2040, será de aproximadamente 357,449 t/dia. Após o cálculo da geração de resíduos por dia para cada ano, foi feito o dimensionamento da capacidade total do aterro pela fórmula:

$$Cta = (Gr_{2040} * 20 * 365)$$

$$Cta = (357,449 * 20 * 365) = 2.609.377,700 \text{ toneladas}$$

Onde:

- Cta é a capacidade total do aterro (t);
- Gr_{2040} é a população no ano (habitantes);



Portanto, o aterro terá uma capacidade total de 2.609.377,700 toneladas.

1.1.2. CAPACIDADE VOLUMÉTRICA DO ATERRO

A capacidade volumétrica total do aterro é a soma da capacidade volumétrica de resíduos (volume de resíduos compactado) e da capacidade volumétrica de solo de cobertura (volume de terra necessário para cobertura ao longo da vida útil do aterro (20 anos)).

Para o dimensionamento do volume de lixo compactado, foi calculado primeiramente o peso específico dos resíduos. Através da média de resíduos coletados na gravimetria (detalhada no Produto 2), tem-se a massa líquida média dos resíduos de 651,67kg, que foram coletados em caminhões com 9,72m³ (1,8m x 3m x 1,8m) de volume. Assim, primeiramente se calculou a massa específica e em seguida tem-se o cálculo do peso específico:

- massa específica:

$$\rho = \frac{m}{V} = \left(\frac{651,67}{9,72} \right) = 67,044 \text{ kg/m}^3$$

- peso específico:

$$\gamma = \frac{\rho * g}{FC} = \frac{67,044 * 9,81}{1000} \cong 0,66 \text{ ton/m}^3$$

Onde:

- ρ é a massa específica;
- m é a massa líquida médio dos resíduos;
- V é o volume da caçamba;
- g é o peso específico;
- g é a aceleração da gravidade (m/s²);
- FC é o fator de correção para transformar kg em toneladas;

O volume de lixo compactado é calculado da seguinte forma:

$$Vr_t = Gr_t/0,66$$

Onde:



- Vr_t é a capacidade volumétrica de resíduos no ano "t" (m^3/dia);
- Gr_t é a geração de resíduos dispostos no aterro no ano "t" (ton/dia);
- 0,66 é a densidade (peso específico) do resíduo compactado, em ton/ m^3 .

Já a capacidade volumétrica do solo de cobertura corresponde a 20% da capacidade volumétrica de resíduos (ABETRE, 2009). Então, o volume total de resíduo compactado e volume de solo utilizado para recobrimento é dado pela seguinte fórmula:

$$Vt_{r+s} = Vr_t + (Vr_t * 20\%)$$

Onde:

- Vt_{r+s} é a capacidade volumétrica total de resíduos compactados mais o recobrimento com solo no ano "t" (m^3/dia);
- Vr_t é a capacidade volumétrica de resíduos no ano "t" (m^3/dia);

A Planilha 1 detalha o volume de lixo compactado e de terra para cobertura em cada ano da vida útil do aterro, bem como a capacidade volumétrica do aterro acumulada ao longo dos 20 anos (4.196.289,50 m^3).



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Planilha 1 – Capacidade volumétrica do aterro acumulada ao longo dos 20 anos.

Ano	População Prevista (hab)	Eficiência da Coleta (%)	Per capita de resíduos depositados no aterro (Kg/hab.d)	Lixo a ser disposto no aterro (t/dia)	Lixo a ser disposto no aterro (t/ano)	Peso específico do resíduo compactado (t/m³)	Volume de Lixo Compactado (m³)		Volume de Terra p/ cobertura (m³/dia)	Volume de Lixo compactado +Terra compactada (m³)		
							Diário	Anual		Diário	Anual	Acumulado
2.019	420.358	100	0,54	226,994	82.852,654	0,66	343,9	125.534	68,79	412,72	150.641,19	150.641,19
2.020	427.441	100	0,543	231,926	84.652,977	0,66	351,40	128.262	70,28	421,68	153.914,50	304.555,69
2.021	434.649	100	0,545	236,969	86.493,633	0,66	359,04	131.051	71,81	430,85	157.261,15	461.816,84
2.022	441.984	100	0,548	242,125	88.375,528	0,66	366,86	133.902	73,37	440,23	160.682,78	622.499,62
2.023	449.449	100	0,550	247,396	90.299,593	0,66	374,84	136.818	74,97	449,81	164.181,08	786.680,70
2.024	457.047	100	0,553	252,786	92.266,774	0,66	383,01	139.798	76,60	459,61	167.757,77	954.438,47
2.025	464.779	100	0,556	258,296	94.278,043	0,66	391,36	142.846	78,27	469,63	171.414,62	1.125.853,10
2.026	472.647	100	0,558	263,930	96.334,393	0,66	399,89	145.961	79,98	479,87	175.153,44	1.301.006,54
2.027	480.656	100	0,561	269,690	98.436,836	0,66	408,62	149.147	81,72	490,35	178.976,07	1.479.982,60
2.028	488.805	100	0,564	275,579	100.586,412	0,66	417,54	152.404	83,51	501,05	182.884,39	1.662.866,99
2.029	497.100	100	0,566	281,600	102.784,180	0,66	426,67	155.734	85,33	512,00	186.880,33	1.849.747,32
2.030	505.540	100	0,569	287,757	105.031,225	0,66	436,00	159.138	87,20	523,19	190.965,86	2.040.713,18
2.031	514.131	100	0,572	294,051	107.328,657	0,66	445,53	162.619	89,11	534,64	195.143,01	2.235.856,19
2.032	522.873	100	0,575	300,487	109.677,609	0,66	455,28	166.178	91,06	546,34	199.413,83	2.435.270,03
2.033	531.770	100	0,577	307,066	112.079,240	0,66	465,25	169.817	93,05	558,30	203.780,44	2.639.050,46
2.034	540.824	100	0,580	313,794	114.534,737	0,66	475,45	173.537	95,09	570,53	208.244,98	2.847.295,44
2.035	550.039	100	0,583	320,672	117.045,312	0,66	485,87	177.341	97,17	583,04	212.809,66	3.060.105,10
2.036	559.416	100	0,586	327,705	119.612,205	0,66	496,52	181.231	99,30	595,83	217.476,74	3.277.581,83
2.037	568.960	100	0,589	334,895	122.236,683	0,66	507,42	185.207	101,48	608,90	222.248,51	3.499.830,35
2.038	578.672	100	0,591	342,247	124.920,042	0,66	518,56	189.273	103,71	622,27	227.127,35	3.726.957,70
2.039	588.556	100	0,594	349,763	127.663,607	0,66	529,94	193.430	105,99	635,93	232.115,65	3.959.073,35
2.040	598.615	100	0,597	357,449	130.468,735	0,66	541,59	197.680	108,32	649,91	237.215,88	4.196.289,23



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ano	População Prevista (hab)	Eficiência da Coleta (%)	Per capita de resíduos depositados no aterro (Kg/hab.d)	Lixo a ser disposto no aterro (t/dia)	Lixo a ser disposto no aterro (t/ano)	Peso específico do resíduo compactado (t/m ³)	Volume de Lixo Compactado (m ³)		Volume de Terra p/ cobertura (m ³ /dia)	Volume de Lixo compactado +Terra compactada (m ³)		
							Diário	Anual		Diário	Anual	Acumulado
TOTAL	-	-	-	-	2.307.959,08	-	9.580,57	3.496.907,69	699.381,54	-	4.196.289,23	-

Fonte: EMPIA, 2020.



1.1.3. ÁREA DO TERRENO

De acordo com SELUR (2017), para um aterro capaz de receber 300 t/dia de resíduos, necessita-se da aquisição de um terreno de 189.844 m². Dessa forma, em uma proporção aritmética, um aterro que irá receber 357,449 t/dia de resíduos, necessitará de um terreno de:

$$A_{\text{terreno}} = \frac{189.844 * 357,449}{300} = 226.198,23 \text{ m}^2$$

Segundo o mesmo autor, a área para disposição dos resíduos, para um aterro capaz de receber 300 t/dia de resíduos, é de 104.489 m², assim, para um aterro capaz de receber 357,449 t/dia de resíduos, a área para disposição de resíduos é:

$$A_{\text{resíduos}} = \frac{104,489 * 357,449}{300} = 124.498,15 \cong 125.000 \text{ m}^2$$

O Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo (SELUR) detém os Aspectos Técnicos/Econômico-Financeiros da Implantação, Manutenção, Operação e Encerramento de Aterros Sanitários em conformidade com a NBR ABNT 8.419 e NBR ABNT 13.896. Assim seguiu-se as premissas geométricas de SELUR (2017) para a área do terreno do aterro sanitário de Montes Claros que se tratam:

- Terreno necessário com topografia plana, com solo de boa capacidade de suporte e com lençol freático situado a mais de 7 m de profundidade em toda a área;
- Aterro a ser implantado via escavação em terreno, sem dique periférico;
- Aterro em formato retangular, com um dos lados tendo o dobro do comprimento do outro;
- Inclinação dos taludes de corte e aterro em solo de 1,5 (H): 1 (V);
- Inclinação do talude final do aterro de resíduos (considerando bermas de 4m



de largura): 2,5 (H): 1(V);

→ Densidade aparente total do aterro: 0,95 tf/m. Considerou-se a densidade aparente total como sendo a divisão de todo o peso de resíduos depositados no aterro dividido por seu volume total. Não é, portanto, a densidade dos resíduos "em si" uma vez que o volume do aterro contempla outros materiais além dos resíduos que ali adentraram (como, por exemplo: brita, solo, tubos etc.);

→ Assumiu-se que 20% do volume total do aterro será constituído por solo de cobertura de resíduos;

Como o volume de resíduos compactados ao longo da vida útil do aterro é de 3.496.907,918 m³ (Planilha 1), então o volume de solo utilizado para a cobertura dos resíduos é de:

$$Vt_s = Vr_t * 20\%$$

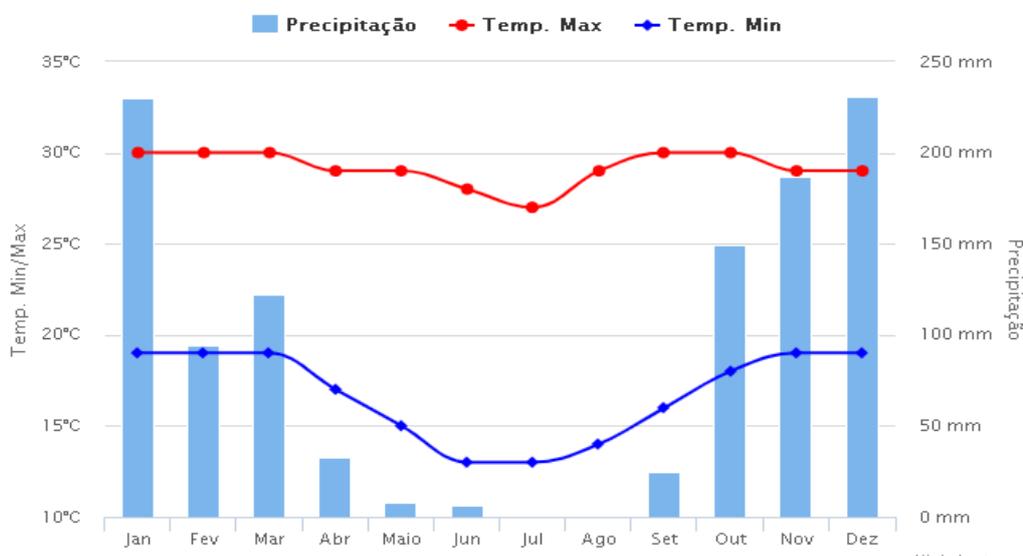
$$Vt_s = 3.496.907,918 * 20\%$$

$$Vt_s = 699.381,584 \text{ m}^3$$

→ Assumiu-se uma localidade geográfica típica da cidade de Montes Claros, onde as médias climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 30 anos. Portanto, observou-se uma pluviometria anual média de 1.087 mm/ano (CLIMATEMPO, 2020).



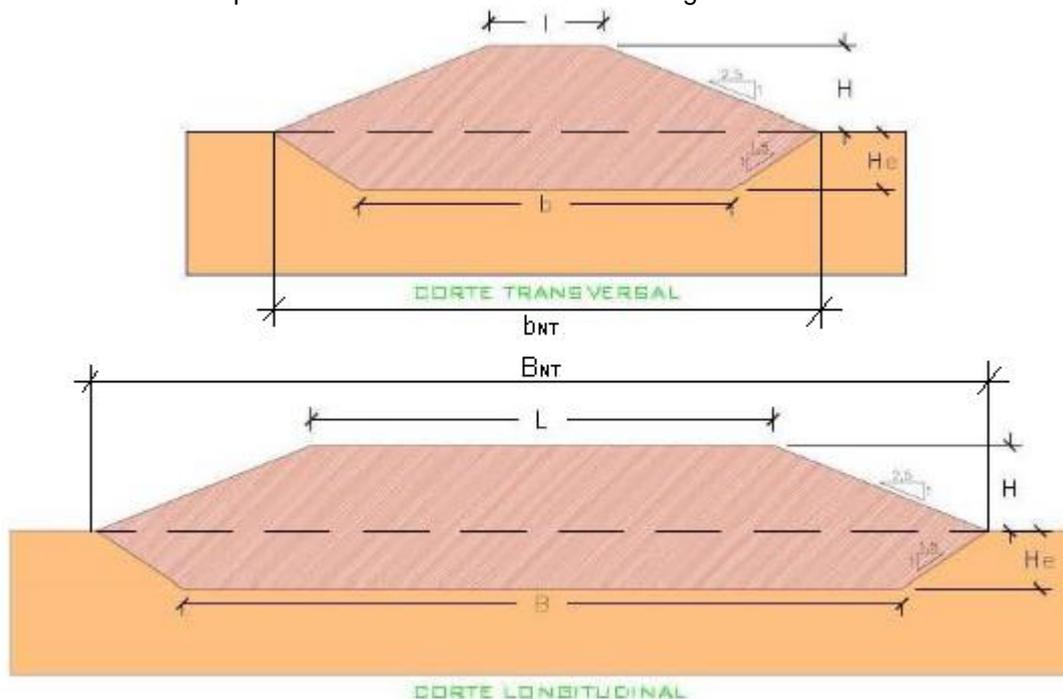
Figura 3 – Pluviometria de Montes Claros.



Fonte: CLIMATEMPO (2020).

A configuração se dará para um único platô, para economia de área e minimização de impactos (SELUR, 2017), considerando o avanço na gestão municipal dos resíduos sólidos com a universalização da coleta seletiva e gerenciamento adequado dos resíduos sólidos nas suas variadas tipologias: orgânico, de construção civil, de saúde, volumosos, etc.

Figura 4 – Desenho esquemático dos cortes transversal e longitudinal adotados do aterro sanitário.



Fonte: Adaptado de SELUR (2017).

Além das premissas detalhadas anteriormente também adotou-se as premissas técnicas de SELUR (2017) para a geométrica do maciço, que segundo terá um formato piramidal (altura do maciço e suas dimensões de base). Essas informações são necessárias para que a dimensão do aterro a ser calculado, seja igual ou maior que a necessária para a quantidade de volume de resíduos estimada. As premissas geométricas adaptadas de SELUR (2017) estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo das premissas técnicas indicadas por SELUR (2017).

Premissas geométricas	
Inclinação talude escavação	1,5m (Horizontal): 1m (Vertical)
Inclinação talude resíduos	2,5m (Horizontal): 1m (Vertical)
Altura de escavação do nível do terreno (H_e)	4,5 m
Altura do aterro acima do nível do terreno (H), um único platô	55 m
Base maior (nível do terreno) (B_{NT})	620 m



Premissas geométricas	
Base menor (nível do terreno) (b_{NT})	310 m

Fonte: Adaptado de SELUR (2017).

A partir do valor encontrado da área para a disposição dos resíduos ($124.498,152 \text{ m}^2$) pôde-se calcular a dimensão dos lados do aterro. Como admitiu-se o formato retangular para o aterro, um dos lados será o dobro do outro (lado A = 2 x lado B). Então, a dimensão da área para a disposição dos resíduos será de:

$$\text{Lado A} = \sqrt{\frac{A_{NT}}{2}}$$
$$\text{Lado A} = \sqrt{\frac{124498,152}{2}} \cong 250 \text{ m}$$

Portanto, aproximando os cálculos para valores redondos, facilitando a construção do aterro, a dimensão do terreno para disposição de resíduos será de 250 x 500m com área real de 125.000 m^2 (este valor será utilizado para todo o dimensionamento do aterro).

Ao se adotar o valor da altura de escavação de 4,5 m deve-se adaptar as proporções de inclinação do talude escavação indicadas por Selur (2017), conforme Tabela 3. A inclinação indicada é de 1,5m (Horizontal): 1m (Vertical). O calculo se deu da seguinte maneira:

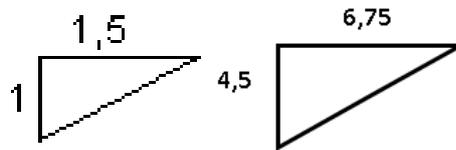
$$\text{Inclinação horizontal: } 1,5 * 4,5 = 6,75 \text{ m}$$

$$\text{Inclinação vertical: } 1 * 4,5 = 4,5 \text{ m}$$

Assim, na mesma proporção, para uma altura 4,5 m, a inclinação de 1,5 m (Horizontal): 1m (Vertical) passou para 6,75 m (Horizontal): 4,5 m (Vertical). Como pode-se ver na Figura 5.



Figura 5 – Figura dos valores de inclinação de escavação do aterro.



O cálculo da área da base (A_B) se deu pela seguinte fórmula:

$$A_B = B * b$$

Sendo:

- B: o valor da base maior (B_{NT}) no corte longitudinal (Figura 2) subtraída do valor de inclinação horizontal:

$$B = B_{NT} - 6,75 - 6,75 = 500 - 13,5 = 486,5 \text{ m};$$

- b : o valor da base menor (b_{NT}) no corte transversal (Figura 2) subtraída do valor de inclinação horizontal:

$$b = b_{NT} - 6,5 - 6,5 = 250 - 13,5 = 236,5 \text{ m}.$$

Então o cálculo da área da base (A_B) foi:

$$A_B = B * b$$

$$A_B = 486,5 * 236,5 = 115.057,25 \text{ m}^2.$$

O volume da base até nível do terreno (V_{bt}) foi calculado com base no volume do tronco pirâmide:

$$V_{bt} = \frac{H_e}{3} * (A_{NT} + \sqrt{A_{NT} * A_B} + A_B)$$

Sendo:

- H_e é a altura de escavação: 4,5 m;

- A_{NT} é a área do nível do terreno: 125.000 m²;

- A_B é a área da base: 115.057,25 m².

$$V_t = \frac{4,5}{3} * (125000 + \sqrt{125.000 * 115.057,25} + 115.057,25) = 539.974,32 \text{ m}^3$$



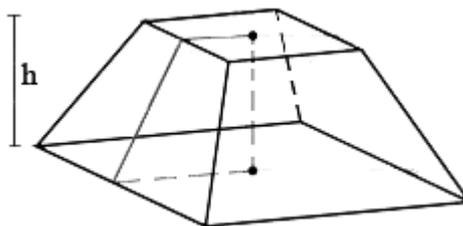
O volume total do aterro é igual ao valor calculado da capacidade total do aterro (2.609.377,700 m³). Sendo assim, o volume de aterro acima do nível do terreno é de:

$$V_{\text{acima do nível do terreno}} = 2.609.377,700 - 539.974,32 = 2.069.403,383 \text{ m}^3$$

Sabendo o volume do aterro acima do nível do terreno, foi possível calcular a altura do aterro (H_a) através da fórmula do volume de pirâmide a seguir, já que o volume do aterro acima do nível do terreno é semelhante a um tronco de pirâmide:

$$V_{\text{ant}} = \frac{H_a * A_{NT}}{3}$$

Figura 6 – Desenho esquemático do cálculo da altura do aterro.



Como já se sabe o volume do aterro acima do nível do terreno e a área do nível do terreno, isola-se a altura do aterro na equação a seguir:

$$H_a = \frac{V_{\text{ant}} * 3}{(A_{NT})}$$

Sendo:

- V_{ant} é o volume do aterro acima do nível do terreno (m³);
- A_{NT} é a área do nível do terreno: 125.000 m².

$$H_a = \frac{2.096.400,3745 * 3}{125000} = 49,865 \text{ m}$$

Definidos os dados iniciais, parte-se para a composição de custos das etapas do ciclo de vida do aterro sanitário.

2. PRÉ-IMPLANTAÇÃO



Este estudo inicial tem o objetivo de apresentar uma estimativa de custos para disposição final dos resíduos sólidos no município de Montes Claros-MG. As caracterizações definitivas deverão ser mencionadas em um projeto executivo, a ser elaborado após abertura de realização de um processo licitatório específico para dimensionamento de aterro sanitário para o município.

Este produto 3 se baseou na pesquisa elaborada pela ABETRE - Associação Brasileira de Empresas Tratamento de Resíduos e Efluentes, fundada em 1997, reunindo empresas de tratamento de resíduos domésticos e industriais que prestam serviços ambientais sediadas em todo o território nacional.

ABETRE juntamente com Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo (SELUR) elaborou um documento público que é referência sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários. Este estudo aborda quatro portes de aterro (micro, pequeno, médio e grande, Tabela 3) e modelados como empreendimentos típicos, segundo premissas de engenharia assim se baseando em referências de custos unitários públicos. Neste sentido este estudo contempla os aspectos técnicos/Econômico-Financeiros da Implantação, Manutenção, Operação e Encerramento de Aterros Sanitários em conformidade com a NBR ABNT 8.419 e NBR ABNT 13.896. Tal estudo é o produto final do serviço de consultoria econômico-financeira realizado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – Fipe ma organização de direito privado, sem fins lucrativos, criada em 1973, que possui hoje, destacada atuação no Brasil nas áreas de ensino, projetos, pesquisa e desenvolvimento de indicadores econômicos e financeiros.

Tabela 3 – Classificação dos portes dos aterros.

Porte do Empreendimento	Capacidade de recebimento
Micro	Até 100 toneladas por dia
Pequeno	Até 300 toneladas por dia
Médio	Até 800 toneladas por dia
Grande	Até 2.000 toneladas por dia

Fonte: SELUR (2017).



Dessa maneira a pesquisa de Selur (2017) foi base da análise para a realização deste produto 3 e se refere fundamentalmente aos custos de cinco etapas distintas da viabilização de um aterro: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento.

Os custos de cada uma das diferentes etapas do aterro sanitário são de grande relevância para se estabelecer o que se necessita no produto apresentado, o custo para disposição final de resíduos sólidos em Montes Claros-MG. Os custos envolvidos na pré-implantação se referem a aquisição do terreno para a implantação do aterro, estudos iniciais, projeto executivo e licenciamento ambiental. A planilha 2 apresenta os custos finais da etapa de pré-implantação.

2.1. AQUISIÇÃO DO TERRENO

2.1.1. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários

O projeto de aterro sanitário para resíduos não perigosos se inicia com a escolha de uma área onde ele será implantado e operado. É por meio da seleção de uma área adequada que podemos garantir o bom desempenho do aterro, sob os aspectos ambientais, técnicos, econômicos, sociais e de saúde pública. Sabendo disso, a seleção de áreas para a implantação do aterro se torna uma grande dificuldade dos municípios, pois ela deve obedecer a um conjunto de parâmetros técnicos presentes nas normas e legislações federais, estaduais e municipais, levando em consideração também as condições ambientais, econômicas e sociais do local.

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001), deve ser adotada estratégias para a seleção da área de um novo aterro. Essa estratégia deve se basear na seleção preliminar das áreas disponíveis no município, na escolha do conjunto de critérios de seleção, na definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos e na análise crítica de cada uma das áreas levantadas de acordo com os critérios estabelecidos e priorizados. Dessa forma, a área selecionada deve ser aquela que atende a maior parte dos critérios por parte das suas características naturais.



Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997), o local a ser utilizado para a implantação de aterros de resíduos não perigosos deve ser tal que, o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado, a aceitação da instalação pela população seja maximizada, que esteja de acordo com o zoneamento da região, que possa ser utilizado por um longo período de tempo e necessite apenas do mínimo de obras para o início da operação.

Após a seleção preliminar das áreas disponíveis no município, para a avaliação da adequabilidade do local ao que está disposto na NBR 13.896/1997, estabeleceu-se um conjunto de critérios de seleção. Esses critérios podem ser divididos em técnicos, econômico-financeiros e sociais, e são apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5 de acordo com o conteúdo da NBR 13.896 (ABNT, 1997) e do Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001).

Tabela 4 - Critérios técnicos para a seleção de áreas para aterros sanitários.

Critérios	Observações
Topografia	Fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%, em que locais com declividades maiores que 30% podem ser utilizados a critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA).
Uso do solo	As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
Geologia e tipos de solo	Importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.
Proximidade aos recursos hídricos	Avaliar a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água, mas a critério do OCA essa distância pode ser alterada.
Vegetação	Realizar um estudo macroscópico da vegetação, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores.



Crítérios	Observações
Proximidade a aeroportos	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
Proximidade núcleos populacionais	Deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m. As áreas também não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Permeabilidade do solo natural	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.

Tabela 5 – Critérios técnicos para a seleção de áreas para aterros sanitários (continuação)

Tamanho disponível e vida útil	O tamanho disponível e vida útil do aterro encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.
Distância do lençol freático	Para aterros com impermeabilização inferior com manta plástica sintética, entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. Para aterros com impermeabilização inferior através de camada de argila, a distância do lençol freático à camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-6} cm/s. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região.
Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
Acessos	Avaliar os acessos área selecionada, sendo um fator importante em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação. A pavimentação deve ter boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.



Fonte: ABNT, 1997 e MONTEIRO *et al.*, 2001

Os custos de um aterro sanitário variam muito, conforme seu tamanho, bem como seu método construtivo. Para se obter uma análise de viabilidade econômica do empreendimento, necessita-se elaborar um cronograma físico-financeiro (ABNT, 1997). A Tabela 6 apresenta os critérios econômico-financeiros para seleção de áreas para aterros sanitários e a Tabela 7 os critérios sociais para essa seleção.

Tabela 6 - Critérios econômico-financeiros para seleção de áreas para aterros sanitários.

Critérios	Observações
Distância do local de geração de resíduos	É desejável que o percurso dos veículos de coleta seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte dos resíduos.
Custos com aquisição do terreno	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
Custos com manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

Fonte: MONTEIRO *et al.*, (2001).

Tabela 7 - Critérios sociais para a seleção de áreas para aterros sanitários

Critérios	Observações
Aceitabilidade da população	É desejável que, nas proximidades da área selecionada, não tenha havido nenhum tipo de problema da prefeitura com a comunidade local, com organizações não-governamentais (ONG's) e com a mídia, pois esta indisposição com o poder público irá gerar relações negativas à instalação do aterro.
Distância de núcleos urbanos de baixa renda	Aterros muitas vezes atraem pessoas desempregadas, de baixa renda ou sem outra qualificação profissional, que buscam a catação do lixo como forma de sobrevivência e que passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres. Por isso, caso a nova área se localize próxima a



	núcleos urbanos de baixa renda, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou renda que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de catação.
--	---

Fonte: MONTEIRO *et al.*, (2001).

Apesar dos diversos critérios a serem seguidos para a seleção da área para a implantação do aterro sanitário, segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997),

Em qualquer caso, obrigatoriamente, os seguintes critérios também devem ser observados:

- O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos;
- Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região;
- O aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s. Um subsolo com coeficiente de permeabilidade superior a 5×10^{-5} cm/s pode vir a ser aceito pelo OCA, a seu critério, dependendo do tipo de resíduo a ser disposto e das demais condições hidrogeológicas do local do aterro, desde que este valor não exceda 10^{-4} cm/s;
- Os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

De acordo com a associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018), a avaliação dos diversos critérios considerados e a análise integrada destes permitem a identificação das áreas mais propícias para a implantação do aterro. As áreas pré-selecionadas devem ser comparadas de acordo com o atendimento ou não aos critérios estabelecidos. Dessa forma, podemos classificá-las nas seguintes categorias:

1. Recomendada que é quando a área poderá ser utilizada nas condições em que se encontra, atendendo às normas vigentes com baixo investimento;
2. Recomendada com restrições, quando a área poderá ser utilizada, mas necessita medidas complementares de projeto de médio investimento;



3. E não recomendada quando não se recomenda a utilização da área em função da necessidade de medidas complementares de projeto de alto investimento e/ou devido a restrições ambientais severas.

A Figura 7 apresenta uma forma de verificar as informações de cada um dos critérios estabelecidos, avaliar e comparar qual a melhor área a ser selecionada para a implantação do aterro.

Figura 7 – Critérios para a priorização das áreas de instalação do aterro sanitário (fase de pré-seleção de áreas).

Dados necessários	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	Possível	Adequada	Não recomendada
<i>Vida útil</i>	<i>Maior que 10 anos</i>	<i>Menor que 10 anos (a critério do órgão ambiental)</i>	
Distância ao centro atendido	5-20 km		Menor que 5 km Maior que 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação e correlatas
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento principal
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valor da terra	Baixo	Médio	Alto
Aceitação da população e de entidades ambientais não governamentais	Boa	Razoável	Oposição severa
Declive do terreno (%)	3 ≤ declividade ≤ 20	20 ≤ declividade ≤ 30	Declividade < 3 ou declividade > 30
Distância aos cursos d'água (córregos, nascentes, etc.)	Maior que 200 m	Menor que 200 m com aprovação do órgão ambiental responsável	

Fonte: CEMPRE (2018).

Caso nenhuma área atenda as condições necessárias, o processo de seleção deverá ser revisto e refeito até que outras áreas que sejam passíveis de utilização sejam obtidas. Após a definição da área adequada para a implantação, o Poder Público Municipal poderá seguir com os procedimentos para o licenciamento ambiental do empreendimento (CEMPRE, 2018).

Os custos incluem aquisição de terreno, registro de imóveis e custos com processo de compra/desapropriação.

2.1.2. Terreno:

A compra do terreno foi baseada no valor do município de Montes Claros.



O valor de aquisição do terreno: R\$ 5,93/m² (MONTES CLAROS, 2017), baseado no valor médio do m² para áreas não loteadas no município. Ajustando esse valor, através do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

Assim, o valor atual corrigido pelo Índice Geral de Preços do Mercado é o valor da aquisição do m² do terreno, multiplicada pela porcentagem anual do índice, conforme exposto a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Terreno} &= \text{Valor por m}^2 * IGPM_{2018} * IGPM_{2019} * IGPM_{2020} \\ \text{Terreno} &= 5,93 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0278 = \text{R\$ } 7,03/\text{m}^2 \end{aligned}$$

A área do terreno é 226.198,493 m², então:

$$\begin{aligned} \text{Custo do terreno} &= \text{Terreno} * \text{área do Terreno} \\ \text{Custo do terreno} &= 7,03 * 226.198,4932 = \text{R\$ } 1.590.974,25. \end{aligned}$$

2.1.3. Registro de imóveis:

O custo para o registro de imóveis foi obtido pela tabela de emolumentos de 2019 segundo o Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais (TJMG). Com isso, o valor para se obter o registro de imóvel é baseado no valor do imóvel, estimado no item anterior. Portanto, o registro de imóvel é de R\$ 4.970,85.

2.1.4. Custo com processo de compra/desapropriação:

Já o custo com o processo de compra/desapropriação do terreno é igual à metade do valor para o registro do imóvel, ou seja, R\$ 2.485,43 (TJMG, 2019).

A Tabela 8 contempla o resumo do custo total que envolve a aquisição do terreno em si.

Tabela 8 - Custos da aquisição do terreno.

2.1	Aquisição do terreno
-----	----------------------



	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Custo calculado R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
2.1.2	Terreno	m ²	5,93	1,186	7,03	226198,4932	1.590.974,25
2.1.3	Registro de imóveis	-	-	-	-	-	4.970,85
2.1.4	Custo com processo de compra/desapropriação	-	-	-	-	-	2.485,43
Custo total							1.598.430,53

Fonte: EMPIA, 2020.

2.2. ESTUDOS INICIAIS

Os estudos iniciais incluem os seguintes serviços: levantamento planialtimétrico cadastral da área escolhida, sondagens de solo na área escolhida, implantação de poços de monitoramento de água subterrânea, análises de qualidade das águas superficiais e estudos preliminares de viabilidade de área.

2.2.1. Levantamento planialtimétrico cadastral

O levantamento planialtimétrico é um documento que descreve o terreno com exatidão, em que são expostas as medidas planas, ângulos e diferenças de nível (inclinação). O levantamento de uma determinada área visa obter com precisão, usando-se métodos e instrumentos adequados, os elementos que permitam a elaboração das plantas topográficas com um número suficiente de coordenadas de pontos da superfície do terreno. A Planialtimetria representa as informações planimétricas e altimétricas em uma única planta, carta ou mapa que fornece o maior número possível de informações da superfície representada para efeitos de estudo, planejamento e viabilização de projetos, representando os acidentes geográficos (naturais ou artificiais) do terreno em função de suas coordenadas planas (x, y). A altimetria, fornece um elemento a mais, que é a coordenada (z) de pontos isolados do terreno (pontos cotados) ou de planos horizontais de interseção com o terreno (curvas de nível). Esse serviço é primordial para mostrar todas as situações físicas da área a ser tratada, visto a capacidade de apresentar os declives, imperfeições, quantitativos de corte ou aterro, custo de movimentação de terra, medições exatas do local (SGTOPOGRAFIA, 2020).



Levantamento planialtimétrico cadastral da área escolhida: R\$ 0,50/m² (COHAB, 2020).

A área do terreno é 226.198,493 m², então:

$$\text{Custos do levant. planialt.} = \text{Levant. planialt.} * \text{área do terreno}$$

$$\text{Custos do levant. planialt} = 0,50 * 226.198,4932 = \text{R\$ } 113.099,25$$

2.2.2. Sondagem do solo:

Sondagem do solo é um método de investigação geológica-geotécnica que possibilita a identificação dos horizontes de solo, determinação da profundidade do nível d'água (quando existente) e a coleta de amostra de solo, em quantidade suficiente para executar os ensaios laboratoriais. Com base na sondagem pode-se realizar ensaios de densidade, de umidade *in situ*, além da identificação dos horizontes de solo e a determinação da resistência, etc (SUPORTE, 2020).

Para um aterro do porte de Montes Claros, Selur (2017) recomenda que sejam feitas 240 sondagens ao longo do período de pré-implantação do aterro. Será realizada 1 sondagem a cada 15.000 m² de área, com 15m de profundidade cada uma, então para a área total desse aterro serão feitas 16 sondagens.

O valor orçado pela empresa APL Engenharia situada em Montes Claros, para a composição de todas as atividades de sondagem forneceu um valor de 27.864,80 (APLENGENHARIA, 2020).

2.2.3. Implantação de poços de monitoramento de água subterrânea:

Os poços de monitoramento são instrumentos permanentes que permitem acesso direto ao aquífero, além do recolhimento de amostras de água subterrânea. A partir desses poços é possível realizar o reconhecimento das características e condicionantes hidrogeológicas dos locais (MBGEOLOGIA, 2020).

A implantação de poços de monitoramento são estimados em R\$ 250/m (LAGOA SANTA, 2016). Com isso, ajustou-se o valor através do índice IGP-M.

$$\text{Implantação de poços} = \text{Valor} * \text{IGPM}_{2018} * \text{IGPM}_{2019} * \text{IGPM}_{2020}$$



$$\text{Implantação de poços} = 250 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0278 = \text{R\$ } 296,52/m$$

Foram consideradas a indicação de SELUR (2017) para a construção de 3 poços de monitoramento com 25 m de profundidade cada.

$$\text{Custos dos poços} = \text{Valor} * \text{quantidade de poços} * \text{profundidade}$$

$$\text{Custos dos poços} = 296,52 * 3 * 25 = \text{R\$ } 22.239,00$$

2.2.4. Análises de qualidade das águas superficiais:

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos, permitindo a caracterização e a análise de tendências, sendo essenciais para várias atividades de gestão e contaminação ambiental (ANA, 2020).

Análises de qualidade das águas superficiais: R\$ 1.600,00/unid (SELUR, 2017).
Ajustando esse valor, através do índice IGP-M, tem-se:

$$\text{Análises de água} = \text{Valor} * \text{IGPM}_{2018} * \text{IGPM}_{2019} * \text{IGPM}_{2020}$$

$$\text{Análises de água} = 1600 * 1,0755 * 1,073 * 1,0278 = \text{R\$ } 1.897,75$$

Segundo SELUR (2017) para um aterro do porte calculado é indicado que sejam realizadas 3 unidades, assim tem-se:

$$\text{Custos de análises de água} = \text{Análises de água} * \text{quantidade de unidade}$$

$$\text{Custos de análises de água} = 1.877,62 * 3 = \text{R\$ } 5.693,25$$

Assim, resumiu-se na Tabela 9, todos os gastos acerca dos estudos iniciais para a implantação do aterro.

Tabela 9 - Custos para os estudos iniciais.

Estudos iniciais para a implantação do aterro							
2.2	Descrição	Unidade	Custo unitário	IGPM _{AC}	Custo calculado	Quantidade	Custo total



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

			R\$		R\$		do item R\$
2.2.1	Levantamento planaltimétrico cadastral	m ²	0,50	-	-	226.198,493 2	113.099,25
2.2.2	Sondagem de solo	vb	27.864,80	-	-	1	27.864,80
2.2.3	Implantação de poços de monitoramento de água subterrânea	m	250,00	1,186	296,52	75	22.239,00
2.2.4	Análise de qualidade das águas superficiais	unidade	1600,00	1,186	1897,75	3	5.693,25
Custo total							168.896,29

Fonte: EMPIA, 2020.

2.3. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Os custos envolvendo licenciamento se referem à elaboração de estudos ambientais (EIA RIMA) e obtenção das licenças prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO). A licença prévia é requerida a partir da apresentação do projeto básico do aterro, que visa verificar a adequação da localização do empreendimento e de sua viabilidade. É nessa etapa que se elabora o EIA/RIMA, relatório e documento técnicos que valoram os impactos ambientais causados, caso haja a implantação do empreendimento. Após a aprovação do EIA/RIMA, parte-se para a licença de instalação (LI), que é requerida através da apresentação do projeto executivo do aterro. Uma vez que o projeto executivo foi aprovado e a LI obtida, o empreendedor pode iniciar a obra do aterro sanitário. A partir da finalização da obra, parte-se para obtenção da LO, que será obtida através da verificação da obra. Estando de acordo com o projeto apresentado na etapa de LI, a LO é obtida, dando aval para o início da operação do aterro sanitário (IBAM, 2002).

Segundo FIRJAN (2004), os principais custos relacionados a um processo de licenciamento incluem:

- Recolhimento da taxa referente a cada licença expedida;
- Coletas de dados e informações pertinentes;
- Análises, se necessárias;
- Estudo de avaliação de impacto ambiental, dependendo da licença;
- Implantação de medidas preventivas e/ou corretivas aos impactos negativos;



- Acompanhamento e monitoramento dos impactos;
- Publicações das licenças.

Os custos incluem elaboração de EIA/RIMA e obtenção de LP, LI e LO.

Obtenção das Licenças Prévia, Instalação e Operação, no procedimento de licenciamento ambiental concomitante para a operação do aterro o mais breve possível: R\$ 177.162,09 (SEMAD, 2020). Elaboração de EIA/RIMA¹ e obtenção das licenças: R\$ 385.710,31 (ARPB, 2020).

Com isso, a Tabela 10 a seguir resume todo o custo necessário para o licenciamento ambiental.

Tabela 10 – Custos para o licenciamento ambiental do aterro.

2.3	Licenciamento ambiental do aterro		
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017)
	Obtenção de LP, LI e LO, no procedimento de licenciamento ambiental concomitante	vb	R\$ 177.162,09
	Elaboração do EIA/RIMA	vb	R\$ 385.710,31
	Custo total		R\$ 562.872,40

Fonte: EMPIA, 2020.

2.4. PROJETO EXECUTIVO

Atualmente a disposição final dos resíduos sólidos domésticos gerados no município de Montes Claros é de responsabilidade da Viasolo Engenharia Ambiental S/A, no Aterro Sanitário de Mimoso, localizado na zona rural do município. Esse aterro recebe diariamente cerca de 226 toneladas por dia. Considerando essa quantidade atual e a quantidade resíduos que serão gerados no ano de 2040 (horizonte de projeto de 20 anos), de acordo com FGV/ABETRE 2009, o aterro a ser construído deverá ser de médio porte.

¹ Os estudos contemplados no EIA/RIMA segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (2020) devem seguir as orientações da resolução do Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986 que se encontra no Anexo I.



Para projetos de aterros sanitários, recomenda-se a adoção das seguintes normas brasileiras:

1. NBR 13896/1997: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação.
2. NBR 8419/1992: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento.

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001), para aterros de porte médio ou grande, a etapa de implantação consiste em cercamento da área, serviços de limpeza da área, serviços de terraplanagem, serviços de montagem eletromecânica, estradas de acesso e de serviço, serviços de impermeabilização, serviços de drenagem de águas pluviais, sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado, sistema de drenagem de gases, serviços de construção civil, sistema de monitoramento ambiental, serviços complementares e materiais e equipamentos.

Os aterros sanitários são diferenciados pelos métodos construtivos e operacionais adotados no projeto. Dessa forma, para a escolha do método construtivo do aterro é necessário considerar três principais fatores, sendo eles a topografia, o tipo de solo e a profundidade do lençol freático (MONTEIRO *et al.*, 2001). Além disso, é importante ter conhecimento também da quantidade de resíduos a dispor e dos equipamentos e recursos disponíveis, pois isso também pode ser determinante para a escolha do método construtivo. Existem três métodos construtivos mais comuns, sendo eles os métodos da trincheira, da rampa e da área.

Segundo Monteiro *et al.*, (2001), “o Método da Trincheira ou vala é a técnica mais apropriada para terrenos que sejam planos ou pouco inclinados, e onde o lençol freático esteja situado a uma profundidade maior em relação à superfície”.

Nesse método os resíduos são dispostos em valas, compactados e cobertos com solo ou outros materiais utilizados nessa cobertura. Dependendo da quantidade de resíduos a serem dispostos e dos equipamentos, as valas podem ser de pequena ou grande dimensão (CEMPRE, 2018).

De acordo com ReCESA (2008):



“O Método da Rampa é empregado em áreas relativamente secas e planas, de meia encosta, onde se modifica a topografia através de terraplanagem, construindo-se uma rampa cujos resíduos são dispostos, formando células. Esse método consiste no aterro feito com o aproveitamento de um talude, natural ou construído, onde os resíduos são compactados de encontro a esse talude”.

A permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático confirmarão ou não o uso desta técnica.

Segundo MONTEIRO *et al.*, (2001), o terceiro método, da Área, é adequada em zonas baixas, onde seja pouco provável o uso do solo local como cobertura. Dessa maneira deve-se retirar solos de jazidas para utilizar como cobertura, sendo de suma importância a proximidade desses locais, visando economia com transporte. Os outros procedimentos são iguais ao método da rampa.

Para a elaboração do projeto do aterro sanitário, a prefeitura pode optar por utilizar os profissionais já contratados pela prefeitura, ou contratar profissionais ou empresa especializada para realizar tal serviço. O custo desta ação foi estimado através da contratação de profissionais especializados por tempo de 6 meses. O custo dos colaboradores responsáveis pelo o projeto executivo encontra-se na Tabela 11.

- Engenheiro Sanitarista: R\$ 11.976,16/mês (SINAPI, 2020);
- Engenheiro Civil pleno: R\$ 17.498,33/mês (SINAPI, 2020).

$$\text{Custo colaboradores} = (\text{Valor SINAP eng. sanitária} + \text{Valor SINAP eng. civil}) * 6$$

$$\text{Custo colaboradores} = (11976,16 + 17498,33) * 6 = \mathbf{R\$ 176.846,94}$$

Tabela 11 – Custos dos colaboradores responsáveis pelo o projeto executivo.

Projeto executivo do aterro					
	Descrição	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Custo total do item
2.4.1	Contratação de Engenheiro Sanitarista	mês	R\$ 11.976,16	6	R\$ 71.856,96
2.4.2	Contratação de Engenheiro Civil	mês	R\$ 17.498,33	6	R\$ 104.489,93
Custo total					R\$ 176.489,98

Fonte: EMPIA, 2020.

A Planilha 2 apresenta o custo de todos os itens descritos na etapa de



implantação.



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Planilha 2– Custo da etapa de pré implantação.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL
2	PRÉ-IMPLANTAÇÃO				
2.1	Aquisição do terreno				1.598.430,53
2.1.1	Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários				
2.1.2	Terreno	m ²	7,03	226198,4932	1.590.974,25
2.1.3	Registro de imóveis				4.970,85
2.1.4	Custo com processo de compra/desapropriação				2.485,43
2.2	Estudos iniciais				168.896,29
2.2.1	Levantamento planialtimétrico cadastral da área escolhida	m ²	0,50	226198,4932	113.099,25
2.2.2	Sondagem de solo na área escolhida	vb	27864,80	1	27.864,80
2.2.3	Implantação de poços de monitoramento de água subterrânea	m	296,52	75	22.239,00
2.2.4	Análises de qualidade das águas superficiais	Unidade	1897,75	3	5.693,25
2.3	Licenciamento ambiental				562.872,40
	Obtenção de LP, LI e LO com atendimento de condicionantes	vb		177162,09	177162,09
	Elaboração do EIA/RIMA	vb		385710,31	385.710,31
2.4	Projeto Executivo				176.846,94
	Contratação de Engenheiro Sanitarista	mês	11976,16	6	71.856,96
	Contratação de Engenheiro Civil	mês	17498,33	6	104.989,98
TOTAL PRÉ-IMPLANTAÇÃO					2.507.046,16

Fonte: EMPIA, 2020.



3. IMPLANTAÇÃO

Este estudo inicial tem o objetivo de apresentar uma estimativa de custos para disposição final dos resíduos sólidos no município de Montes Claros-MG. As caracterizações definitivas deverão ser mencionadas em um projeto executivo, a ser elaborado após abertura de realização de um processo licitatório específico para dimensionamento de aterro sanitário para o município.

Ressalta-se que estudo foi baseado no documento de referência para a estimativa de custos de que abrange os aspectos técnico-econômico-financeiros da Implantação, Manutenção, Operação e Encerramento de Aterros Sanitários elaborado por SELUR (2017) e ABETRE - Associação Brasileira de Empresas Tratamento de Resíduos e Efluentes.

Além desta metodologia, seguiu-se o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos elaborado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (2001), na norma NBR 13896 (ABNT, 1997), que estabelece as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, e no Manual de Gerenciamento Integrado elaborado pela associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018).

3.1. CERCAMENTO DA ÁREA

O cercamento da área deve existir de forma a impedir o acesso de pessoas não autorizadas e animais na área do aterro, evitando acidentes e contaminações.

De acordo com a NBR 13896 (1997) um aterro que recebe resíduos não perigosos deve possuir:

1. cerca que circunde completamente a área em operação, construída de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais;
2. portão junto ao qual seja estabelecida uma forma de controle de acesso ao local;
3. sinalização na(s) entrada(s) e na(s) cerca(s) com tabuletas contendo os dizeres “PERIGO – NÃO ENTRE”;
4. cerca viva arbustiva ou arbórea ao redor da instalação, quando os aspectos relativos à vizinhança, ventos dominantes e estética assim o exigirem;
5. faixa de proteção sanitária *non-aedificant* de no mínimo 10 m de largura.



Conforme Monteiro *et al.*, (2001) a barreira vegetal próxima à cerca tem também como objetivo impedir a visão da área operacional e auxiliar na dispersão do cheiro característico do lixo.

A área do aterro sanitário, de acordo com item 1.1.3 deste documento, é de cerca de 226.200,00 m² (área operacional). Assim, considerando uma área quadrada para o aterro, cada lado teria aproximadamente 475,60 metros, sendo seu perímetro igual a 1.902,40 m.

3.1.1. Cerca que circunde completamente a área:

Para o cálculo da cerca que circunde completamente a área, seguiu-se as especificações técnicas de SELUR (2017).

- Arame farpado galvanizado, 2,11 mm, classe 250: R\$ 0,76/m (SINAPI, 2020).
- Madeira roliça tratada, H = 2,2 m, D = 16 a 19 cm: R\$11,24/m (SINAPI, 2020).

Para o cálculo do custo da cerca tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Custo da cerca} &= (\text{Valor no SINAP arame} + \text{Valor no SINAP madeira}) * \text{perímetro} \\ \text{Custo da cerca} &= (0,76 + 11,24) * 1.902,40 = \mathbf{R\$ 22.828,80.} \end{aligned}$$

3.1.2. Portão:

- Portão de correr em gradil fixo de barra de ferro: R\$ 525,74/m² (SINAPI, 2020).

Para o dimensionamento do portão seguiu-se as especificações técnicas de SELUR (2017). O portão com dimensões mínimas de 3 metros largura x 3,5 metros altura que possibilitem entrada de caminhão (dimensões médias em mm 2500 largura x 3150 altura). Admitindo um portão de 4,5 metros de largura e 3,5 metros de altura, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Custo do portão} &= (\text{área do portão}) * \text{Valor no SINAP} = \\ \text{Custo do portão} &= (4,5 * 3,5) * 525,74 = \mathbf{R\$ 8.280,41.} \end{aligned}$$

3.1.3. Placa de aço esmaltada:



Placa de aço esmaltada contendo os dizeres “PERIGO – NÃO ENTRE”, 45 x 20 cm: R\$ 80,85/unidade (SINAPI, 2020). Estimando a necessidade de cerca de 40 placas, tem-se:

$$\text{Custo das placas} = \text{Valor do SINAP} * \text{Quantidade de placas}$$

$$\text{Custo das placas} = 80,85 * 40 = \text{R\$ 3.234,00}$$

3.1.4. Cerca viva

Eucalipto é uma espécie recomendada para cerca viva de aterro, devido ao seu crescimento rápido e ao seu grande porte (MEINERZ, et al. 2009).

- Muda de Eucalipto: a partir de um orçamento solicitado pelos autores, foi obtido o valor de R\$ 3,00/unidade (AGROPLANT, 2020). Como o perímetro adotado foi de 1902,40 m conforme detalhado anteriormente (para a área do aterro sanitário de cerca de 226.200,00 m² e considerando uma área quadrada para o aterro, cada lado teria aproximadamente 475,60 metros, sendo seu perímetro igual a 1.902,40 m).

O eucalipto será plantado em torno do perímetro da área do aterro com espaçamento de 3 metros entre cada árvore (FERREIRA, 2017). Então, deverão ser plantados cerca de 634 mudas de eucalipto.

$$\text{Custo das mudas} = \text{Valor da muda} * \text{quantidade de mudas}$$

$$\text{Custo das mudas} = 3,00 * 634 = \text{R\$ 1.902,00}$$

Portanto, os custos para o cercamento estão resumidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos para o cercamento da área.

3.1	Cercamento da área				
	Descrição	Unidade	Custo unitário SINAPI	Quantidade	Custo total do item
3.1.1	Arame farpado galvanizado	m	R\$ 0,76	1902,4	R\$ 1.445,82
3.1.2	Madeira roliça tratada	m	R\$ 11,24	1902,4	R\$ 21.382,98
3.1.3	Portão de correr em gradil fio de barra de ferro	m ²	R\$ 525,74	15,75	R\$ 8.280,41
3.1.4	Placa de aço esmaltada	Unidade	R\$ 80,85	40	R\$ 3.234,00



3.1.5	Muda de eucalipto	Unidade	R\$ 3,00	634	R\$ 1.902,00
Custo total					R\$ 36.245,21

Fonte: EMPIA, 2020.

3.2. SERVIÇOS DE LIMPEZA DA ÁREA

Essa etapa da implantação envolve a remoção da vegetação natural (desmatamento e destocamento) da camada de solo vegetal nas áreas operacionais. Essa remoção pode ser realizada por meio de capina, roçada e raspagem.

O desmatamento, destocamento e limpeza são realizados após a locação da área e a marcação dos offsets (encontro do talude com o terreno natural). Após o desmatamento, que consiste na retirada de toda a vegetação, procede-se com o arrancamento dos tocos de árvores. Essa etapa tem como objetivo principal remover toda a camada de terra vegetal (cerca de 50 cm de espessura). Essa camada retirada é depositada em leiras próximas à obra para depois ser reutilizada (ReCESA, 2008).

Para a composição de custos dessa etapa, prossegue os itens 3.2.1 e 3.2.2.

3.2.1. Limpeza mecanizada de camada vegetal, vegetação e pequenas árvores com trator de esteiras:

- Limpeza mecanizada de camada vegetal, vegetação e pequenas árvores com trator de esteiras: R\$ 0,24/m² (SINAPI, 2020). Para o cálculo do custo da limpeza da camada vegetal tem-se:

$$\text{Custo de limpeza mecanizada} = \text{Valor no SINAP} * \text{área do aterro}$$

$$\text{Custo de limpeza mecanizada} = 0,24 * 226.198,23 = \text{R\$ } 54.287,58$$

3.2.2. Remoção de raízes remanescentes de tronco de árvore:



- Remoção de raízes remanescentes de tronco de árvore: R\$ 174,33/unidade (SINAPI, 2020). O custo com a remoção de troncos de árvores dependerá da área escolhida, visto que cada terreno possui suas próprias características de vegetação.

Com isso, os custos envolvidos no serviço de limpeza para implantação do aterro é apresentado resumidamente pela Tabela 13.

Tabela 13 – Custos para o serviço de limpeza.

3.2	Serviços de limpeza				
	Descrição	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Custo total do item
3.2.1	Limpeza mecanizada de camada vegetal, vegetação e pequenas árvores com trator de esteiras	m ²	R\$ 0,24	226198,23	R\$ 54.287,58
3.2.2	Remoção de raízes remanescentes de tronco de árvore.	unidade	R\$ 174,33	*dependerá da área escolhida	*dependerá da área escolhida
Custo total					R\$ 54.287,58

Fonte: EMPIA, 2020.

3.3. SERVIÇOS DE TERRAPLANAGEM

O objetivo deste serviço é desenvolver uma geometria mais favorável à implantação das células do aterro, criando uma área plana para facilitar e maximizar a capacidade de disposição de resíduos, além de otimizar a drenagem dos líquidos percolados e outras operações (SELUR, 2017).

O material de corte resultante do serviço de terraplanagem deve ser armazenado em local adequado para que haja a possibilidade de posterior uso do mesmo como material de cobertura das células onde os resíduos são dispostos.

Para que a compactação do solo seja executada da melhor forma, as camadas a serem compactadas devem ter uma umidade ótima, determinada por meio de



ensaios em laboratório, e se necessário deve ser realizado o umedecimento dessas camadas.

3.3.1. Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria:

Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria: R\$ 3,59/m³ (SINAPI, 2020). Para o cálculo de custo de escavação, carga e transporte, deve-se utilizar o volume do aterro abaixo do nível do solo para a retirada do material de 1ª categoria. Portanto, tem-se:

$$\text{Custo} = \text{Valor do SINAP} * \text{volume do aterro abaixo do nível do terreno}$$

$$\text{Custo de Escavação, carga e transporte} = 3,59 * 539.974,32$$

$$\text{Custo de Escavação, carga e transporte} = \text{R\$ } 1.938.507,80$$

3.3.2. Execução e compactação de aterro:

Execução e compactação de aterro: R\$ 6,38/m³ (SINAPI, 2020). A compactação ocorrerá durante toda a operação do aterro. Então, utiliza-se a o volume total do mesmo. Portanto, tem-se:

$$\text{Exec. e compactação de aterro} = \text{Valor do SINAP} * \text{volume do aterro inteiro}$$

$$\text{Exec. e compactação de aterro} = 6,38 * 2.069.403,383 = \text{R\$ } 13.202.793,58$$

A partir dos cálculos acima, pode-se apresentar a Tabela 14 com os custos para a terraplanagem da área do aterro.

Tabela 14 – Custos para o serviço de terraplanagem.

3.3	Serviço de terraplanagem				
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017)	Quantidade	Custo total do item
3.3.1	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria	m ³	R\$ 3,59	579.974,32	R\$ 1.938.507,80
3.3.2	Execução e compactação do aterro	m ³	R\$ 6,38	2.069.403,383	R\$ 13.202.793,58
Custo total					R\$ 15.141.301,38



Fonte: EMPIA, 2020.

3.4. SERVIÇOS DE MONTAGEM ELETROMECÂNICA

Esse serviço consiste basicamente na montagem da balança, que deve seguir rigorosamente as instruções do fabricante. Essa etapa deve ser cuidadosa no sentido de obter um perfeito nivelamento das plataformas de pesagem.

Segundo DEMSUR (2019), o custo para fornecimento e instalação de balança eletrônica é de R\$ 41.336,50. Ajustando esse valor, através do índice geral de preços de mercado IGP-M, tem-se:

$$\text{Custo da balança}_{2020} = \text{Custo fixo} * (\text{IGPM}_{2019} * \text{IGPM}_{2020})$$

$$\text{Custo da balança}_{2020} = 41.336,50 * (1,1028) = \text{R\$ } 45.587,09$$

3.5. ESTRADAS DE ACESSO E DE SERVIÇO

De acordo com ABNT (1997), os acessos de um aterro sanitário, tanto internos, quanto externos, devem estar sempre adequados para sua utilização sob quaisquer condições climáticas.

Segundo Monteiro *et al.*, (2001),

“As estradas de acesso e de serviço devem ser executadas em pavimento primário, com acabamento em "bica corrida" ou entulho de obra selecionado. A pista de rolamento deve ter caimento uniforme para um dos lados, encaminhando toda a água de chuva para o sistema de drenagem que margeia a estrada. A espessura recomendada para as vias internas do aterro é de 30 a 50cm, compactadas em camadas de 15 a 25cm”.

Por esta estimativa de custos não possuir uma área definida para a implantação e diante da necessidade de se estimar os custos com os acessos externos do aterro, considerou-se o aterro da Viasolo, já em operação na cidade de Montes Claros, para medir com segurança o perímetro das vias foi empregado o software Google Earth em



que foi possível medir o acesso externo. A via externa foi medida a partir da MG 308 até a sede administrativa do aterro totalizando 580 m de comprimento por 6 m de largura, o que equivale a 3.480 m² de pavimento. Já o acesso interno foi estimado com um comprimento equivalente ao perímetro do área operacional do aterro (item 3.1), sendo portanto 1903 m de comprimento e 6 m de largura e, conseqüentemente 11.418 m² de pavimento.

3.5.1. Acesso externo e interno:

- Pavimento com tratamento superficial simples: R\$ 5,23/m² (SINAPI, 2020).

Para este cálculo tem-se:

$$\text{Custo do pavimento} = (\text{Acesso exte} + \text{Acesso inter.}) * \text{Valor no SINAP}$$

$$\text{Custo do pavimento} = (3.480 + 11.418) * 5,23 = \mathbf{R\$ 77.916,54}$$

3.6. SERVIÇOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O sistema de impermeabilização de base do aterro tem a função de proteger a fundação do mesmo, evitando-se a contaminação do subsolo e de águas subterrâneas pela percolação de líquidos e gases do aterro.

A geologia e tipos de solos existentes são critérios importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável que no local do aterro exista um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10⁻⁶ cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m, como é o caso de alguns tipos de solos argilosos que possuem essas características. Além desse depósito natural é importante instalar uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), que segundo Monteiro *et al.* (2001) deve atender aos seguintes requisitos:



- Resistir satisfatoriamente ao ataque de todos os produtos químicos aos quais estiver exposto, assim como à radiação ultravioleta e aos microrganismos;
- Apresentar resistência às intempéries para suportar os ciclos de umedecimento e secagem e de frio e de calor;
- Apresentar adequada resistência à tração e flexibilidade e alongamento suficientes para suportar os esforços de instalação e de operação, sem apresentar falhas;
- Resistir à laceração, abrasão e punção de qualquer material pontiagudo ou cortante que possa estar presente nos resíduos;
- Apresentar facilidade para execução de emendas e reparos em campo, sob quaisquer circunstâncias

Ainda segundo Monteiro *et al.* (2001), as geomembranas podem ser substituídas por solos argilosos de baixa permeabilidade (usualmente inferior a 10^{-7} cm/s), denominados revestimentos minerais. O sistema de impermeabilização de base deve ter durabilidade e compatibilidade com o líquido a ser isolado. Porém a grande dificuldade de se utilizar solos argilosos é garantir que os mesmos possuam as características apropriadas para serem utilizados como material para impermeabilização de base. Uma vez que devem:

- Apresentar uma porcentagem maior do que 30% de partículas, passando pela peneira nº 200 da ASTM (Análise de Granulometria por Peneiramento e Sedimentação, conforme NBR 7181/84);
- Apresentar limite de liquidez maior ou igual a 30% (conforme NBR 6459/84);
- Apresentar índice de plasticidade maior ou igual a 15% (conforme NBR 7180/84);
- Apresentar coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-7} cm/s, quando compactado



→ Atingir o grau de permeabilidade desejada, as camadas impermeabilizantes de argila devem ser executadas com controle tecnológico de compactação, com as seguintes características:

- Camadas compactadas de, no máximo, 20 cm de espessura;
- Umidade em torno da umidade ótima obtida no ensaio de compactação com energia de Proctor normal;
- Densidade de, no mínimo, 95% da densidade máxima obtida no ensaio de compactação com energia de Proctor normal;
- Coeficiente de permeabilidade de, no mínimo, 10^{-7} cm/s

Segundo ABNT (1997) sempre que as condições hidrogeológicas do local escolhido para a implantação do aterro não atenderem às essas especificações, deve ser implantada uma camada impermeabilizante na superfície inferior conforme:

- Ser construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com o resíduo, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas devido a pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, contato físico com o líquido percolado ou resíduo, condições climáticas e tensões da instalação da impermeabilização ou aquelas originárias da operação diária;
- Ser colocada sobre uma base ou fundação capaz de suportá-la, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização, de forma a evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro;
- Ser instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo ou o líquido percolado não entre em contato com o solo natural.

Diante da dificuldade de se atender os requisitos necessários para o emprego de argila como base para o revestimento de aterros sanitários, para esse produto foi realizado um orçamento para a utilização de geomembrana (manta de PEAD) que atenda os requisitos necessários em aterros.

Conforme item 1.1.3 deste Produto 3, a área para disposição dos resíduos é



125.000 m².

3.6.1. Fornecimento e aplicação de geocomposto bentonítico:

O custo de fornecimento e aplicação de geocomposto bentonítico ou manta termoplástica, pead, geomembrana lisa, com espessura de 2,50 mm (geossintético de baixíssima permeabilidade) na base e taludes do aterro é de R\$ 48,97/m² (SINAPI, 2020).

$$\begin{aligned} \text{Custo do geocomposto} &= \text{Valor do geocom.} * \text{área de disposição dos resíduos} = \\ \text{Custo do geocomposto} &= 48,97 * 125.000,00 = \mathbf{R\$ 6.121.250,00} \end{aligned}$$

3.6.2. Espalhamento de solo de confinamento (solo fino) sobre geocomposto bentonítico:

- Espalhamento de solo de confinamento (solo fino) sobre geocomposto bentonítico não se aplica nos taludes do aterro, apenas na base, estimando então a área da base sendo 90% da área de disposição dos resíduos). Com uma espessura de 20 cm: R\$ 0,81/m³ (SINAPI, 2020). Para o cálculo tem-se:

Espalhamento de solo

$$\begin{aligned} &= \text{Valor no SINAP} * (90\% \text{ da área de disposição dos resíduos} \\ &* \text{área de diposição de resíduos} * \text{espessura do solo}) \\ \text{Espalhamento de solo} &= 0,81 * (0,9 * 125.000,00 * 0,20) \\ \text{Espalhamento de solo} &= \mathbf{R\$ 18.225,00.} \end{aligned}$$

3.6.3. Fornecimento e aplicação de manta de pead de 2,0 mm:

- Fornecimento e aplicação de manta de PEAD de 2,0 mm: R\$ 39,44/m² (SINAPI, 2020). Para a escolha da manta de PEAD considerou-se as indicações de SELUR (2017). Para este cálculo tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Custo manta} &= \text{Valor no SINAP} * \text{área de diposição de resíduos} = \\ \text{Custo manta} &= 39,44 * 125.000,00 = \mathbf{R\$ 4.930.000,00.} \end{aligned}$$



3.6.4. Geotêxtil de proteção (300 g/m²) sobre a manta Pead:

- Geotêxtil de proteção (300 g/m²) sobre a manta de PEAD: R\$ 10,23/m² (SINAPI, 2020). Para a escolha do geotêxtil considerou-se as indicações de SELUR (2017). Para este cálculo tem-se:

$$\text{Geotêxtil de proteção} = \text{Valor no SINAP} * \text{área de diposição de resíduos}$$

$$\text{Geotêxtil de proteção} = 10,23 * 125.000,00 = \text{R\$ 1.278.750,00.}$$

3.6.5. Espalhamento de solo fino sobre geotêxtil (20 cm):

- Espalhamento de solo fino sobre geotêxtil (20 cm) (não se aplica nos taludes do aterro, apenas na base, estimando então a área da base sendo 90% da área de disposição dos resíduos): R\$ 0,81/m³ (SINAPI, 2020). Para este cálculo tem-se:

$$\text{Espalhamento de solo} = \text{Valor SINAP} * (90\% \text{ da } A_{dr} * A_{dr} * E_{cs})$$

$$\text{Espalhamento de solo} = 0,81 * (0,9 * 125.500,00 * 0,20) = \text{R\$ 18.225,00.}$$

Sendo:

- *Adr* é a área de disposição dos resíduos;
- *Ecs* é a espessura da camada de solo.

Assim, o custo relacionado ao serviço de impermeabilização onde será disposto os resíduos é apresentado na Tabela 15 de forma resumida.

Tabela 15 - Custos para o serviço de impermeabilização.

3.6	Serviço de impermeabilização				
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017)	Quantidade	Custo total do item
3.6.1	Fornecimento e aplicação de geocomposto bentonítico	m ²	R\$ 48,97	125.000	6.121.250,00
3.6.2	Espalhamento de solo de	m ²	R\$ 0,81		



	confinamento (solo fino) sobre o geocomposto bentonítico			125.000	R\$ 18.225,00
3.6.3	Fornecimento e aplicação de manta de PEAD	m ²	R\$ 39,44	125.000	4.930.000,00
3.6.4	Geotêxtil de proteção sobre a manta de PEAD	m ²	R\$ 10,23	125.000	1.278.750,00
3.6.5	Espalhamento de solo fino sobre geotêxtil	m ²	R\$ 0,81	22.500,00	18.225,00
Custo total					12.366.450,00

Fonte: EMPIA, 2020.

3.7. SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de minimizar a entrada de águas de chuva no aterro, o que reduz a geração de líquidos lixiviados, bem como o escoamento superficial. Dessa maneira, os riscos de erosão nos taludes do aterro capazes de comprometer o funcionamento das camadas de cobertura são também reduzidos (ReCESA, 2008).

Segundo CEMPRE (2018) o sistema de drenagem de águas pluviais em aterros geralmente é constituído por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas), escadas d'água e tubos de concreto. Para dimensionar um sistema como esse, necessita-se da vazão a ser drenada. São definidas as posições e calculadas as dimensões das estruturas hidráulicas de coleta e de condução de águas de acordo com o método construtivo e a forma de operação do aterro. É necessário um adequado plano de manutenção do sistema de drenagem pluvial para que haja um desempenho do sistema eficiente.

O mesmo autor ainda afirma que a água da chuva drenada por este sistema não deve ser misturada com os líquidos percolados do aterro, uma vez que estes devem passar por tratamentos mais rigorosos.

Os aterros devem ser constituídos de drenagem provisória e definitiva. As canaletas de drenagens provisórias são de curta duração, não necessitando de revestimentos especiais, porém devem ser refeitas sempre que preciso. Já as canaletas de drenagens definitivas permanecem ativas ainda em etapas de pós-encerramento do aterro. A Figura 8 apresenta um exemplo da implantação de um sistema de drenagem de águas pluviais em um aterro.

Figura 8 - Exemplo de drenagem de águas pluviais em aterro sanitário



Fonte: FUNASA, 2013.

Os custos que envolvem o sistema de drenagem de águas superficiais será detalhado no item 4.6.

3.8. SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DO LÍQUIDO PERCOLADO

Os resíduos depositados no aterro sanitário quando decompostos geram um líquido chamado chorume, ou seja, esse líquido é proveniente somente da decomposição da matéria orgânica. Quando o chorume é solubilizado em água de origem superficial (chuva ou escoamento) ou subterrânea (infiltração) é chamado de lixiviado ou percolado, pois carrega diversos materiais dissolvidos e suspensos da decomposição da matéria orgânica. Por isso, as características do lixiviado variam de acordo com os tipos de resíduos que são dispostos no aterro.

O sistema de drenagem de lixiviados deve coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de resíduos e também



minimizando o potencial de percolação para o solo e contaminação da água subterrânea. Outro motivo para se drenar o percolado é impedir que ele ataque as estruturas do aterro.

De acordo com a ABNT (1997), para a coleta e remoção do líquido percolado do aterro, o sistema de drenagem deve ser:

- a) Instalado imediatamente acima da impermeabilização;
- b) Dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquido percolado superior a 30 cm sobre a impermeabilização;
- c) Construído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido percolado, e suficientemente resistente a pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos utilizados em sua operação;
- d) Projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento do aterro.

Além disso, os drenos devem ser implantados e projetados em forma de espinha de peixe, com drenos secundários conduzindo o percolado coletado para um dreno principal, que em seguida é conduzido para um poço de reunião, em que é bombeado para a estação de tratamento. A Figura 6 apresenta uma imagem esquemática dos drenos de líquido percolado.

No Brasil, utilizam-se muito os chamados drenos cegos, ou seja, drenos com seção sem tubo circular. O leito desses drenos pode ser em brita ou rachão, seguida de areia grossa e de areia média, podendo evitar a colmatação do dreno pelos sólidos em suspensão presentes em grande quantidade nesse líquido.

Devido as suas características físico-químicas, o líquido percolado deve ser tratado adequadamente antes de ser devolvido para o meio ambiente.

De acordo com a ABNT (1997), “o sistema de tratamento do líquido percolado do aterro deve ser projetado, construído e operado de forma que seus efluentes atendam aos padrões de emissão e garantam a qualidade do corpo receptor”. Além disso, a ABNT (1997) afirma que o monitoramento dos efluentes deve ser realizada, no mínimo, quatro vezes ao ano.

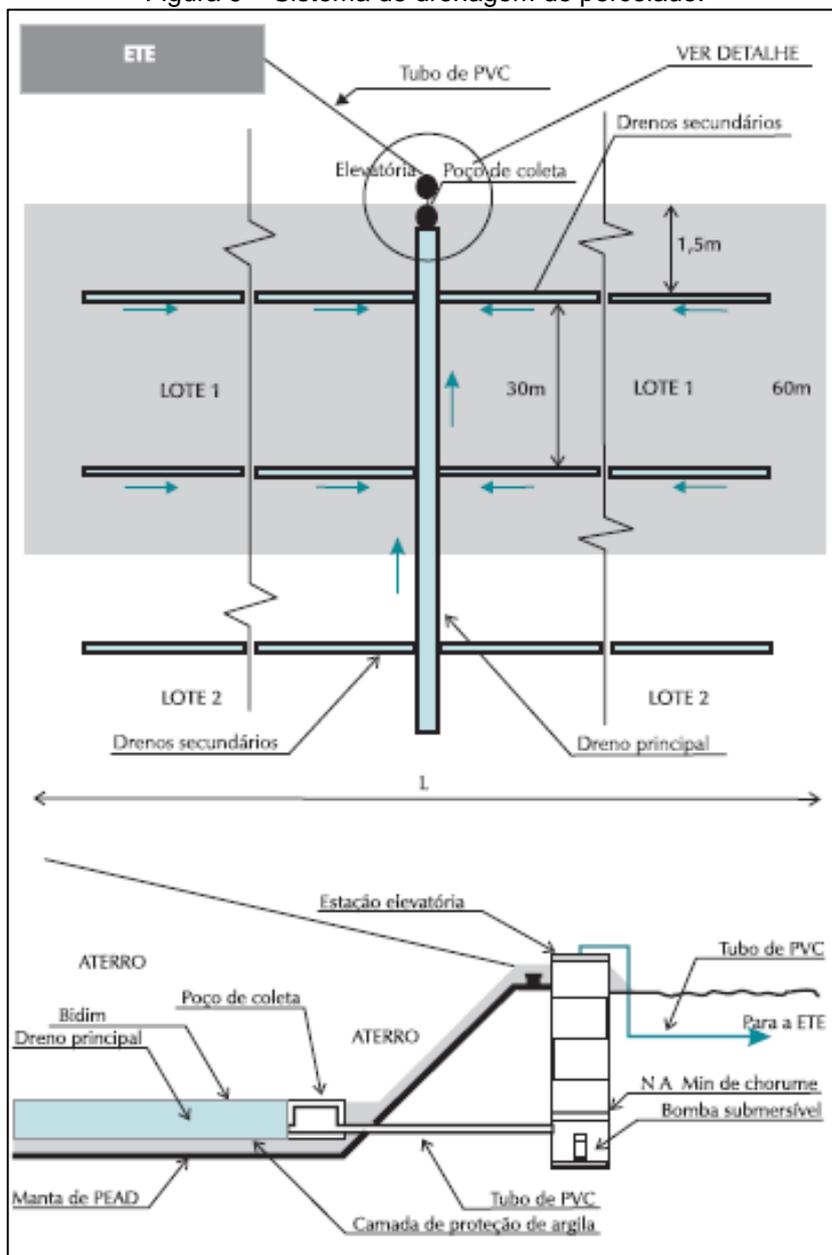
Diversos métodos de tratamento de esgotos sanitários vêm sendo aplicados também para o tratamento do líquido percolado nos aterros sanitários do Brasil.



Conforme orientações de SELUR (2017) o dreno principal, para rebaixamento e condução as águas sub-superficiais na base do aterro, deve ter o comprimento igual ao maior lado da base do aterro, portanto será de 486,50 m, de acordo com item 1.1.3 deste Produto 3. A sua instalação deve ser feita de modo a permitir a captação, deslocamento e deságue das águas que se infiltram buscando evitar o incremento de supressões de água sobre o maciço de resíduos, especificamente sobre o sistema de impermeabilização, além de não permitir a ocorrência de erosões retro progressivas. Para isso considerou-se, para o dreno principal, uma escavação com seção de 1,6 m por 0,6 m, com área transversal de 1m², revestida com geotêxtil com gramatura de 300 g/m² e depois preenchida com rachão e dotado de um tubo perfurado de concreto de 600mm de diâmetro.

Os drenos secundários serão construídos perpendicularmente ao dreno principal, segundo as orientações de SELUR (2017). Eles ficarão a cada 50 m de comprimento do dreno principal, sendo que cada ramal terá um comprimento igual ao menor lado da base do aterro, ou seja, 224 m de acordo com item 1.1.3 deste documento.

Figura 9 – Sistema de drenagem de percolado.

Fonte: MONTEIRO *et al.*, (2001).

3.8.1. Colchão drenante:

O colchão drenante se trata da instalação da camada de material drenante sobre um geotêxtil, convenientemente disposto sobre o terreno. Esta solução tem como principal função a captação e condução das águas e percolados. Portanto, o geotêxtil desempenhará função de filtração, evitando a contaminação do meio drenante, além de servir como reforço construtivo, auxiliando na distribuição de



cargas, proporcionando um aumento significativo no fator de segurança do aterro (DIPROTEC, 2020).

- Colchão drenante com 40 cm segundo orientações de SELUR, (2017). Esse colchão deve composto por rachão instalado acima das camadas de impermeabilização de base do aterro: R\$ 73,21/m³ (SINAPI, 2020). Para este cálculo tem-se:

$$\text{Custos do colchão} = \text{Valor no SINAPI} * (\text{área da base do aterro} * \text{espessura})$$

$$\text{Custos do colchão} = 73,21 * (125.000,00 * 0,4) = \mathbf{R\$ 3.660.500,00}$$

3.8.2. Drenos principais:

- Drenos principais – tubo PEAD, diâmetro de 400mm indicação de SELUR, (2017): R\$ 1.144,94/m (SINAPI, 2020). Para este cálculo tem-se:

$$\text{Drenos principais} = \text{Valor no SINAP} * \text{comprimento da base do aterro} =$$

$$\text{Drenos principais} = 1.144,94 * 486,50 = \mathbf{R\$ 557.013,31}$$

3.8.3. Drenos secundários:

- Drenos secundários – tubo PEAD, diâmetro de 200mm indicação de SELUR, (2017): R\$ 290,11/m (SINAPI, 2020) $486,50/50 = 9,73$. Portanto terão 10 ramais de drenos secundários, com 236,50 m de comprimento cada. Para este cálculo tem-se:

$$\text{Drenos secun.} = \text{Valor no SINAPI} * \text{comprimento do dreno} * \text{quant. de ramais} =$$

$$\text{Drenos secun.} = 290,11 * 236,5 * 10 = \mathbf{R\$ 686.110,15}$$

3.8.4. Poços de coleta:

Os poços de monitoramento são instrumentos permanentes que permitem acesso ao chorume permitindo o recolhimento de amostras.

- Poços de coleta: R\$ 13.404/unid (SELUR, 2017). Conforme SELUR (2017) será necessário apenas um poço de coleta, pois o mesmo receberá o percolado do único dreno principal, que sevirá para o bombeamento do percolado até as lagoas de



armazenamento de percolado.

3.8.5. Bomba para percolado:

A bomba permitirá que o percolado seja bombeado de regiões com cota inferior para cota superior.

- Bomba para percolado: R\$ 5.000,00/unid. A quantidade de bombas dependerá das características do terreno definidos no projeto executivo, podendo também, não ser necessário o uso de bombas, caso as lagoas de armazenamento estiverem a jusante, ou seja, em um ponto mais baixo em relação ao poço de coleta.

3.8.6. Lagoas de acumulação

As águas que escoam pelos dispositivos de drenagens pluviais construídos no aterro sanitário são direcionadas para lagoas de acumulação de águas pluviais com grande capacidade de escoamento e armazenamento. Somente após a análise da qualidade dessa água e sua conformidade com os padrões de descarte da Conama 430 é que elas serão despejadas dessas lagoas para os cursos d'água naturais.

O dimensionamento das lagoas de acumulação de águas pluviais será detalhado no projeto executivo, sendo este o de maior abrangência dos custos envolvidos para a construção das lagoas. Sendo assim, estimou-se o custo com a construção das lagoas de acumulação segundo SELUR (2017).

- Lagoas de acumulação, impermeabilizadas com manta de PEAD: R\$ 28,81/m³ (SELUR, 2017).

$$\text{Lagoas de acumulação} = \text{Valor} * IGPM_{2018} * IGPM_{2019} * IGPM_{2020}$$

$$\text{Lagoas de acumulação} = 28,81 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0278 = \text{R\$ } 34,17/\text{m}^3$$

Assim, considerando uma lagoa de 6.000 m³, segundo SELUR (2017), tem-se:

$$\text{Custos da impermeab.} = \text{valor da impermeabilização} * \text{comprimento} =$$

$$\text{Custos da impermeab.} = 34,17 * 6.000,00 = \text{R\$ } 205,011,96$$

3.8.7. Posto de carregamento/recalque do percolado:



Os postos de carregamento/recalque de percolado são construídos para viabilizar a destinação do percolado até a lagoa de acumulação.

- Posto de carregamento/recalque do percolado (obras civis e bombas): R\$ 15.000,00 (SELUR, 2017). Para isso foi realizado o ajustamento dos valores segundo o IGP-M para:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

$$\text{Posto de Percolado} = \text{Valor orçado} * IGPM_{2018} * IGPM_{2019} * IGPM_{2020}$$

$$\text{Posto de Percolado} = 15.000 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0278 = \mathbf{R\$ 17.791,40}$$

Nesse item, considerou-se que o percolado será bombeamento para lagoa de reservação de onde será bombeado para caminhões e destinado para sistema terceirizado de tratamento para a minimização dos custos na implantação do aterro, visto que a vazão de percolado inviabiliza a construção de uma estação de tratamento própria para o aterro. Assim, o custo do sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado é apresentado pela Tabela 16.

Tabela 16 – Custos para o sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado.

3.8	Sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado				
	Descrição	Unidade	Custo unitário R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
3.8.1	Colchão drenante	m ³	73,21	50.000	3.660.500,00
3.8.2	Drenos principais – tubo PEAD	m	1144,94	486,5	557.013,31
3.8.3	Drenos secundários – tubo PEAD	m	290,11	2365	686.110,15
3.8.4	Poços de coleta	Unidade	13.404,00	1	13.404,00
3.8.5	Bomba para percolado	Unidade	5.000,00	1	5.000,00
3.8.6	Lagoas de acumulação impermeabilizadas com manta PEAD	m ³	34,17	6000	205.011,96
3.8.7	Posto de carregamento/recalque do percolado (obras civis e bombas)	vb	17.791,40	1	R\$ 17.791,40



Custo total	5.144.830,82
--------------------	---------------------

Fonte: EMPIA, 2020.

3.9. SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E QUEIMA DE GASES

Os gases são outro subproduto gerado pela decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos nos aterros sanitários. Esses gases gerados são, basicamente, o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂), que por contribuírem para o agravamento do efeito estufa, precisam ser drenados e tratados adequadamente. Dessa forma, o sistema de drenagem de biogás tem a função semelhante dos drenos de percolado, de drenar os gases para evitar a acumulação do mesmo em redes de esgoto, fossas, poços e sob edificações (internas e externas ao aterro sanitário).

A associação CEMPRE (2018) afirma que,

“Esses drenos atravessam todo o aterro no sentido vertical, desde o sistema de impermeabilização de base até acima do topo da camada de cobertura. Associados aos drenos verticais projetam-se drenos horizontais e subverticais que facilitam a drenagem mais eficiente da massa de resíduos. Esses drenos podem ser interligados ao sistema de drenagem de percolados, dependendo da alternativa de solução de tratamento adotada para o aterro sanitário”.

A partir dos drenos horizontais e verticais, o biogás é direcionado para um “flare”, onde são queimados controladamente, de acordo com diretrizes de normas específicas (SELUR, 2017).

De acordo com ReCESA (2008), para dimensionar os drenos, é necessário saber a vazão de biogás a ser drenada. Geralmente são adotados dimensionamentos práticos do sistema vertical de drenos. Os diâmetros dos drenos verticais variam entre 50 e 100 cm e são preenchidos com brita 3, 4 ou 5. Em se tratando de aterros de grande porte ou de maior altura, seus drenos verticais podem chegar a ter 150 cm de diâmetro.

Segundo a NBR nº 13896 ABNT (1997), “todo aterro deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a captação e tratamento adequado das eventuais emanações”. Assim, depois de drenado, o biogás é encaminhado para o tratamento. A forma atual mais comum e mais barata de tratar o



biogás é queimá-lo, pois, assim o metano se transforma em CO₂, diminuindo seu efeito poluidor na atmosfera. Atualmente, devido ao potencial energético do biogás, outros destinos vêm sendo estudados, como o uso desse gás no mercado de carbono, por meio da venda de créditos de carbono.

3.9.1. Rede de captação

A rede de captação de gases costuma ser implantada ao sistema de extração em fases, ampliando as instalações conforme o aumento da geração de biogás, de forma a reduzir o investimento inicial. O sistema de drenagem de gases tem o objetivo de coletar o biogás na massa de resíduos, atravessando todas as camadas do aterro, até atingir a superfície, sendo posteriormente direcionados para a estação de queima controlada.

Os custos para rede de captação e queima de biogás englobam: poços verticais, drenos horizontais, rede de captação interligando todos os poços verticais de gás, unidades sopradoras encarregadas de promover sucção na rede de captação e unidades de controle e medição (SELUR, 2017).

Segundo SELUR (2017), o valor para a rede de captação de biogás em um aterro que recebe até 300 t/dia é de R\$ 995.763,00 e para aterros que recebem até 800 t/dia é de R\$ 1.730.434,00. Portanto, fez-se a interpolação como demonstrada a seguir com os dados da Tabela 17, a fim de estimar o custo com a rede de captação.

Tabela 17 – Dados referentes a interpolação para o custo da rede de biogás.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Grande
Capacidade de recebimento (ton)	300	357,45	800
Custo para rede de biogás (R\$)	995.763,00	x	1.730.434,00

$$\frac{x - 995.763}{1.730.434 - 995.763} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 995.763}{734671} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 995.763}{734671} = 0,1149$$

$$x - 995.763 = 0,1149 * 734671$$



$$x = [0,1149 * (734671)] + 995.763 = 1.080.176,70$$

Ajustando esses valores, através do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

Assim o custo da rede foi calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Custo da rede}_{2020} &= \text{Custo} * \text{valor IGPM}_{2018} * \text{valor IGPM}_{2019} * \text{valor IGPM}_{2020} \\ \text{Custo da rede}_{2020} &= 1.080.176,70 * 1,186 = \text{R\$ } 1.281.089,57 \end{aligned}$$

3.9.2. Sistema de queima de biogás

Após dispostos nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia. Tal processo ocorre pela ação de microorganismos que transformam a matéria orgânica em biogás. O biogás gerado nos aterros sanitários possui em sua composição metano e dióxido de carbono, gases formadores do fenômeno conhecido efeito estufa. Assim, recomenda-se que o biogás gerado seja drenado e queimado para mitigação dos efeitos causados pelo seu lançamento na atmosfera (BIODISELBR, 2020).

Para estimar o custo do sistema de queima de biogás, foi considerado a captação e a queima do biogás, mas não a geração de energia com essa queima. Essa hipótese simplificadora foi adotada porque considerou-se que a modelagem econômica desse negócio (geração de energia a partir de biogás) é extremamente complexa e de difícil previsibilidade. Sua inclusão no trabalho contaminaria os resultados que se pretendia obter.

Segundo SELUR (2017), o valor para a rede de queima de biogás em um aterro que recebe até 300 t/dia é de R\$ 507.000,00 e para aterros que recebem até 800 t/dia é de R\$ 1.479.000,00. Portanto, fez-se a interpolação com base nos dados expostos na Tabela 18 e como é demonstrado a seguir:



Tabela 18 – Dados referentes a interpolação para o custo da queima de biogás.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Grande
Capacidade de recebimento (ton)	300	357,45	800
Custo para queima de biogás (R\$)	507.000,00	x	1.479.000,00

$$\frac{x - 507.000}{1.479.000 - 507.000} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 507.000}{972.000} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 507.000}{972.000} = 0,1149$$

$$x - 995.763 = 0,1149 * 972.000$$

$$x = [0,1149 * (972.000)] + 507.000 = 618.682,80$$

Ajustando esses valores, através do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

Assim o custo do sistema de queima de biogás foi calculado da seguinte forma:

$$Custo da rede_{2020} = Custo * valor IGPM_{2018} * valor IGPM_{2019} * valor IGPM_{2020}$$

$$Custo da rede_{2020} = 618.682,80 * 1,186 = R\$ 733.757,80$$

Portanto, o custo relacionado ao dimensionamento da captação e queima de gases está sintetizado na Tabela 19.

Tabela 19 – Custos para o sistema de captação e queima de gases.

3.9	Sistema de captação e queima de gases						
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{Ac}	Custo calculado R\$	Quantidade	Custo total do item (R\$)
3.9.1	Rede de captação (equipamentos, tubulação)	vb	1.080.176,7	1,186	1.281.089,57	1	1.281.089,57



	e instalação)						
3.9.2	Sistema de queima de biogás	vb	618.682,8	1,186	733.757,80	1	733.757,80
Custo total							2.014.847,37

Fonte: EMPIA, 2020.

3.10. SERVIÇOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com SELUR (2017), as construções civis que estão englobadas em um aterro sanitário são as apresentadas na Figura 10, com as respectivas dimensões, de acordo com o porte do aterro.

Figura 10 – Construções civis de um aterro sanitário.

	Micro	Pequeno	Médio	Grande
Portaria e casa de balança (m ²)	16	16	16	16
Balanças	1	1	1	2
Escritório (m ²)	32	32	32	32
Galpão para equipamentos, almoxarifado, oficina	32	32	32	32
Vestiário/refeitório	64	64	64	64

Fonte: SELUR (2017).

Segundo SINAPI (2020), o valor do m² para construções e obras civis é de R\$ 1.125,60. Com base no valor dos custos de construções em 2020, pôde-se calcular os valores das obras dos diferentes componentes dos itens a seguir.

- Portaria com 4 m², calcula-se:

$$\begin{aligned} \text{Custo da portaria} &= \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 = \\ \text{Custo da portaria} &= 1.125,60 * 4 = \mathbf{R\$ 4.502,40} \end{aligned}$$

- Casa de balança com 12 m², calcula-se:

$$\begin{aligned} \text{Custo da balança} &= \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 = \\ \text{Custo da balança} &= 1.125,60 * 12 = \mathbf{R\$ 13.507,20} \end{aligned}$$

- Escritório com 32 m², calcula-se:

$$\text{Custo do escritório} = \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 =$$



$$\text{Custo do escritório} = 1.125,60 * 32 = \text{R\$ } 36.019,20$$

- Galpão para equipamentos, almoxarifado e oficina com 32 m², calcula-se:

$$\text{Custo do galpão} = \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 =$$

$$\text{Custo do galpão} = 1.125,60 * 32 = \text{R\$ } 36.019,20$$

- Vestiário com 32 m², calcula-se:

$$\text{Custo do vestiário} = \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 =$$

$$\text{Custo do vestiário} = 1.125,60 * 32 = \text{R\$ } 36.019,20$$

- Refeitório com 32 m², calcula-se:

$$\text{Custo do refeitório} = \text{Custo de obras}_{2020} * m^2 =$$

$$\text{Custo do refeitório} = 1.125,60 * 32 = \text{R\$ } 36.019,20$$

A Tabela 20 apresenta todos os custos relacionados aos serviços de construção civil de forma resumida.

Tabela 20– Custos para os serviços de construção civil.

3.10	Serviços de construção civil			
Descrição	Unidade	Custo unitário (SINAPI) R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
Portaria	m ²	1.125,60	4	4.502,40
Casa de balança	m ²	1.125,60	12	13.507,20
Escritório	m ²	1.125,60	32	36.019,20
Galpão para equipamentos, almoxarifado e oficina	m ²	1.125,60	32	36.019,20
Vestiário	m ²	1.125,60	32	36.019,20
Refeitório	m ²	1.125,60	32	36.019,20
Custo total				162.086,40

Fonte: EMPIA, 2020.

3.11. SERVIÇOS COMPLEMENTARES



Os serviços complementares estão listados a seguir, seguiram as orientações de SELUR (2017) para aterros que recebem 300 ton/dia a 800 ton/dia, fazendo as respectivas interpolações quando necessário e com seu respectivo ajuste de valor com base no valor do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

3.11.1. Viveiro de mudas:

Segundo SENAR (2018), um viveiro de mudas com a tecnologia de tubete plástico tem um investimento total de R\$ 144.493,00 com vida útil de 20 anos e uma área de 660 m² para a operação do viveiro com cultivo de mudas. Tal viveiro é composto por um sistema de irrigação, sombrite e tubetes plásticos para o crescimento das mudas, bandejas de plásticos e o funcionário fixo. Além dessas estruturas, o viveiro também conta com os insumos como sementes, substratos, fungicidas, etc. Para o cálculo tem-se:

$$\text{Viveiro de mudas} = \text{Valor} * \text{IGPM}_{2018} * \text{IGPM}_{2019} * \text{IGPM}_{2020}$$

$$\text{Viveiro de mudas} = 144.493,00 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0278 = \text{R\$ } 171.368,70$$

3.11.2. Estação meteorológica:

A estação meteorológica Vantage Pro2 6162 foi estimada em R\$ 18.970,00 através de uma busca nos valores de mercado (MUNDO CLIMA, 2020). Tal equipamento deve permitir a medição da velocidade média e máx com direção do vento, temperatura, umidade e pressão do ar e dados pluviométricos, com registro em cartão SD durante até um ano e possui alimentação por painel solar, tornando-a autônoma.

3.11.3. Sistema de energia para o aterro:



O sistema de energia para o aterro foi adotado o Sistema Elétrico de Potência (SEP), basicamente composto por: condutor e isolamento, que é todo material que possui a propriedade de conduzir energia elétrica, como por exemplo, os fios e os cabos, que são os principais tipos de condutores utilizados nas instalações, podendo ser de cobre ou de alumínio com isolamento de PVC (cloreto de polivinil) ou de outros materiais previstos por normas; eletrodutos que são tubos metálicos ou de PVC, rígidos ou flexíveis, cuja função é proteger os condutores contra ações mecânicas, corrosões ou proteger o ambiente contra incêndios resultantes do superaquecimento dos condutores ou de arcos elétricos; Interruptores, que são dispositivos usados para abrir e fechar circuitos elétricos, utilizados também na abertura de redes, em tomadas e entradas de aparelhos eletrônicos, basicamente na maioria das situações que envolvem o ligamento ou desligamento de energia elétrica; tomadas, que são peças permanentemente energizadas e servem para ligações de equipamentos; disjuntores, que são dispositivos eletromecânicos que funcionam de maneira similar aos interruptores, só que de forma automática, pois eles servem para proteger o circuito contra sobrecarga e contra curto-circuitos; quadros de distribuição, que é um equipamento destinado a receber energia elétrica de uma ou mais fontes de alimentação e distribuí-las a um ou mais circuitos, podendo também desempenhar funções de proteção, seccionamento, controle e medição.

Sistema de energia para o aterro – iluminação e força: R\$ 50.000,00 (SELUR, 2017). Para o cálculo tem-se:

$$\text{Sistema de energia} = \text{Valor} * IGPM_{2018} * IGPM_{2019} * IGPM_{2020}$$

$$\text{Sistema de energia} = 50.000 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0169 = \mathbf{R\$ 59.300,00}$$

3.11.4. Telefonia e internet:

Os custos relacionados à telefonia e internet é baseada basicamente em um sistema doméstico, já que sua utilização será nas dependências administrativas do aterro. Os custos envolvem a contratação do serviço de telefonia e internet de uma empresa, além da estrutura como computadores, telefones, impressoras, fiações e roteadores.

Telefonia e internet: R\$ 10.000,00 (SELUR, 2017). Para o cálculo tem-se:



$$\begin{aligned} \text{Sistema de telefonia} &= \text{Valor} * IGPM_{2018} * IGPM_{2019} * IGPM_{2020} \\ \text{Sistema de telefonia} &= 10.000 * 1,0755 * 1,0730 * 1,0169 = \mathbf{R\$ 11.860,00} \end{aligned}$$

3.11.5. Plantio de grama em placas:

Plantio de grama em placas (paisagismo): R\$ 8,04/m² (SINAPI, 2020).

Segundo SELUR (2017), o tamanho da área para o plantio de gramas para paisagismo de um aterro que recebe até 300 t/dia é de 2.500 m², o mesmo tamanho é recomendado também para aterros que recebem 800 ton/dia. Portanto, foi estimado uma área de 2.500 m² destinada ao paisagismo com plantio de mudas.

Ajustando esses valores, através do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

Assim o custo do sistema de queima de biogás foi calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Custo da rede}_{2020} &= \text{Custo} * \text{valor IGPM}_{2018} * \text{valor IGPM}_{2019} * \text{valor IGPM}_{2020} \\ \text{Custo da rede}_{2020} &= 8,04 * 1,186 * 2500 \text{ m}^2 = \mathbf{R\$ 23.838,60} \end{aligned}$$

3.11.6. Plantio de árvores

O plantio de gramas e árvores na área de implantação do aterro é uma das formas de valorização da área, tanto na sua fase de operação, quanto na sua fase de encerramento. Essa vegetação auxiliará, principalmete, na recomposição paisagística que ajudará a controlar a estabilidade dos taludes e das áreas adjacentes para evitar ou minimizar os riscos de ocorrência de eventuais erosões. As mudas são escolhidas dando prioridade às espécies locais, favorecendo e valorizando o aspecto visual e cênico do empreendimento.

-Plantio de árvore (paisagismo): R\$ 56,89/unid (SINAPI, 2020).

Segundo SELUR (2017), a quantidade de árvores para um aterro que recebe até 300 t/dia é de 627 unidades e para aterros que recebem até 800 t/dia é de 864



árvores. Portanto, fez-se a interpolação com base nos dados expostos na Tabela 21 e como é demonstrado a seguir:

Tabela 21 – Dados referentes a interpolação para o custo da rede de biogás.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Grande
Capacidade de recebimento (t)	300	357,45	800
Custo para queima de biogás (R\$)	627	x	864

$$\frac{x - 627}{864 - 627} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 627}{237} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 627}{237} = 0,1149$$

$$x - 627 = 0,1149 * 237$$

$$x = [0,1149 * (237)] + 627 = 654,23 \cong 655 \text{ árvores}$$

Ajustando esses valores, através do índice IGP-M, tem-se:

- IGP-M acumulado de 2018: 7,55%;
- IGP-M acumulado de 2019: 7,30%;
- IGP-M acumulado de 2020 (de janeiro a maio): 2,78%.

Assim o custo do sistema de queima de biogás foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Custo da rede}_{2020} = \text{Custo} * \text{valor IGPM}_{2018} * \text{valor IGPM}_{2019} * \text{valor IGPM}_{2020}$$

$$\text{Custo da rede}_{2020} = 56,89 * 1,186 * 655 = \text{R\$ } 44.193,86$$

Com isso, os serviços complementares terão um custo total resumido na Tabela 22. A planilha 3 apresenta todos os custos da fase implantação.

Tabela 22 – Custos para o cercamento da área.

3.11	Cercamento da área
------	--------------------



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
3.11.1	Viveiro de mudas	vb	144.493,00	1,186	1	171.368,70
3.11.2	Estação meteorológica	Unidade	18.970,00	1,186	1	22.498,42
3.11.3	Sistema de energia para o aterro – iluminação e força	vb	50.000,00	1,186	1	59.300,00
3.11.4	Telefonia e internet	vb	10.000,00	1,186	1	11.860,00
3.11.5	Plantio de grama em placas (paisagismo)	m ²	8,04	1,186	2.500	23.838,60
3.11.6	Plantio de árvore (paisagismo)	Un	56,89	1,186	655	44.193,86
Custo total						333.059,58

Fonte: EMPIA, 2020.

ESTIMATIVA DE CUSTOS - IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO						
ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	IGPM _{AC} ou SINAPI	QTDE	CUSTO TOTAL (R\$)
3	IMPLANTAÇÃO					
3.1	Cercamento da área					36.245,21
3.1.1	Arame farpado galvanizado	m	0,76	SINAPI	1902,4	1.445,82
3.1.2	Madeira roliça tratada	m	11,24	SINAPI	1902,4	21.382,98
3.1.3	Portão de correr em gradil fixo de barra de ferro	m ²	525,74	SINAPI	15,75	8.280,41
3.1.4	Placa de aço esmaltada, 45 x 20 cm	Unidade	80,85	SINAPI	40	3.234,00
3.1.5	Cerca viva	Unidade	3,00	SINAPI	634	1.902,00
3.2	Serviços de limpeza da área					54.287,58
3.2.1	Limpeza mecanizada de camada vegetal, vegetação e pequenas árvores com trator de esteiras	m ²	0,24	SINAPI	226198,23	54.287,58
3.2.2	Remoção de raízes remanescentes de tronco de árvore	Unidade	174,33	SINAPI	0,00	-
3.3	Serviços de terraplanagem					15.141.301,38
3.3.1	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria	m ³	3,59	SINAPI	539974,32	1.938.507,80
3.3.2	Execução e compactação de aterro	m ³	6,38	SINAPI	2069403,38	13.202.793,58
3.4	Serviços de montagem eletromecânica					45.587,09
	Balança eletrônica	Unidade	41.336,50	1,1028	1	45.587,09
3.5	Estradas de acesso e de serviço					77.916,54
3.5.1	Acesso Externo	m ²	5,23	SINAPI	3480	18.200,40
	Acesso interno	m ²	5,23	SINAPI	11418	59.716,14
3.6	Serviços de impermeabilização					12.366.450,00



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.6.1	Fornecimento e aplicação de geocomposto bentonítico	m ²	48,97	SINAPI	125000	6.121.250,00
3.6.2	Espalhamento de solo de confinamento (solo fino) sobre geocomposto bentonítico	m ³	0,81	SINAPI	125000	18.225,00
3.6.3	Fornecimento e aplicação de manta de PEAD de 2,0 mm	m ²	39,44	SINAPI	125000	4.930.000,00
3.6.4	Geotêxtil de proteção (300 g/m ²) sobre a manta de PEAD	m ²	10,23	SINAPI	125000	1.278.750,00
3.6.5	Espalhamento de solo fino sobre geotêxtil (20 cm)	m ³	0,81	SINAPI	125000	18.225,00
3.7	Sistema de drenagem de águas pluviais					
	Drenagem pluvial para aterros de médio porte					
3.8	Sistema de drenagem e tratamento do líquido percolado					5.144.830,82
3.8.1	Colchão drenante (40 cm)	m ³	73,21	SINAPI	50000	3.660.500,00
3.8.2	Drenos principais - tubo PEAD	m	1144,94	SINAPI	486,5	557.013,31
3.8.3	Drenos secundários - tubo PEAD	m	290,11	SINAPI	2365	686.110,15
3.8.4	Poços de coleta	Unidade	13404,00	SINAPI	1	13.404,00
3.8.5	Bomba para percolado	Unidade	5000,00	SINAPI	1	5.000,00
3.8.6	Lagoas de acumulação, impermeabilizadas com manta PEAD	m ³	28,81	1,186	6000	205.011,96
3.8.7	Posto de carregamento/recalque do percolado (obras civis e bombas)	vb	15000,00	1,186	1	17.791,40
3.9	Sistema de captação e queima de gases					2.014.847,37
3.9.1	Rede de captação (equipamentos, tubulação e instalação)	vb	1080176,7	1,186	1	1.281.089,57



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.9.2	Sistema de queima de biogás	vb	618682,8	1,186	1	733.757,80
3.10	Serviços de construção civil					162.086,40
	Portaria	m ²	1.125,60	SINAPI	4	4.502,40
	Casa de balança	m ²	1.125,60	SINAPI	12	13.507,20
	Escritório	m ²	1.125,60	SINAPI	32	36.019,20
	Galpão para equipamentos, almoxarifado e oficina	m ²	1.125,60	SINAPI	32	36.019,20
	Vestiário	m ²	1.125,60	SINAPI	32	36.019,20
	Refeitório	m ²	1.125,60	SINAPI	32	36.019,20
3.11	Serviços complementares					333.059,58
3.11.1	Viveiro de mudas	m ²	144493,00	1,186	1	171.368,70
3.11.2	Estação meteorológica	Unidade	18970,00	1,186	1	22.498,42
3.11.3	Sistema de energia para o aterro – iluminação e força	vb	50000,00	1,186	1	59.300,00
3.11.4	Telefonia e internet	vb	10000,00	1,186	1	11.860,00
3.11.5	Plantio de grama em placas (paisagismo)	m ²	8,04	1,186	2500,00	23.838,60
3.11.6	Plantio de árvore (paisagismo)	Unidade	56,89	1,186	655,00	44.193,86
TOTAL IMPLANTAÇÃO						35.376.611,95

Planilha 3 – Custos da fase implantação.
Fonte: EMPIA, 2020.



4. OPERAÇÃO

Este item trata-se da estimativa de custos da fase de operação do aterro sanitário com capacidade de receber cerca de 357,45 toneladas de resíduo por dia.

Vale ressaltar que esta estimativa de custos tem como objetivo principal levantar os custos para disposição final dos resíduos sólidos no município de Montes Claros-MG. A descrição das especificações definitivas de cada elemento do projeto do aterro sanitário é contemplada no projeto executivo que deve ser elaborado após a realização de um processo licitatório específico para dimensionamento de aterro sanitário para este município.

Para a elaboração dos custos da etapa operação seguiu-se as orientações técnicas e de custos de SELUR (2017), tanto para a descrição dos itens a serem realizados quanto em relação a quantidade determinada pelo autor. A quantidade de meses estipulada para a fase de operação totaliza 216 meses, iniciando-se no 3º ano indo até o ano 20º ano (totalizando 18 anos, como descrito no item 1 deste produto). Destaca-se que o trabalho de SELUR (2017) se trata de um documento público de referência para a estimativa de custos e aspectos técnicos e financeiros de aterros sanitários.

A Planilha 4 apresenta os custos da etapa de operação levando em conta o porte do aterro e geração de resíduos do município de Montes Claros-MG.

4.1. EQUIPAMENTOS

Foi considerado nesse estudo que os equipamentos a serem utilizados na operação do aterro sanitário serão locados. Os custos da locação dos equipamentos contemplarão a prestação de serviço do operador, combustível, operação e conseqüentemente a disponibilização do equipamento em questão. Para a elaboração do presente estudo, considerou-se a distribuição de equipamentos para um aterro com recebimento de até 357,45 t/dia de resíduos, seguindo as orientações de SELUR (2017).

Para o cálculo da quantidade de horas trabalhadas (Tabela 23) adotou-se uma



rotina de trabalho de 44 horas semanais, assim em um mês têm-se:

$$\text{Quantidade de horas} = 44 \text{ horas semanais} * 4 \text{ semanas} = 176 \text{ Horas/mês}$$

Tabela 23 – Distribuição de equipamentos.

Item 4.1	Equipamento	Quantidade	Nº de Turnos	Quantidade Horas/mês
4.1.1	Trator Esteira D6	1	1	176
4.1.2	Escavadeira Hidráulica	1	1	176
4.1.3	Retroescavadeira	1	1	176
4.1.4	Caminhão Basculante 6m ³ (Transporte de solo)	1	1	176
4.1.5	Caminhão Basculante 6m ³ (Serviços Diversos)	1	1	176

Fonte: EMPIA, 2020.

A Tabela 24 apresenta os custos dos equipamentos utilizados durante a fase de operação. As descrições técnicas estipuladas nesta tabela tiveram por embasamento os dados estipulados por SELUR (2017) para um aterro sanitário com o porte equivalente ao de Montes Claros. A determinação do custo unitário foi baseado nos valores de SINAPI (2020). A quantidade descrita na Tabela 24 refere-se ao montante de horas trabalhadas durante todo o período de operação (216 meses), considerando 44 horas semanais ao longo de um mês (quatro semanas), para isso calculou-se:

$$\text{Quantidade de horas} = 216 \text{ meses} * 4 \text{ semanas} * 44 \text{ horas} = 38.016 \text{ horas}$$

Para a estimativa dos custos da Tabela 24 foi realizado o cálculo seguinte, em seguida foi realizada a soma de todos itens contemplados na Tabela.

$$\text{Custo do item} = \text{custo da hora} * \text{horas trabalhadas na fase de operação}$$

Tabela 24 – Custos com equipamentos

Item 4.1	Equipamentos	Unidade	Custo unitário	Quantidade (horas)	Custo (R\$)
----------	--------------	---------	----------------	--------------------	-------------



			(R\$)		
4.1.1	Trator Esteira D6	hora	137,92	38.016	5.243.166,72
4.1.2	Escavadeira Hidráulica	hora	110,57	38.016	4.203.429,12
4.1.3	Retroescavadeira	hora	78,13	38.016	2.970.190,08
4.1.4	Caminhão Basculante 6m ³ (Transporte de solo)	hora	97,83	38.016	3.719.105,28
4.1.5	Caminhão Basculante 6m ³ (Serviços Diversos)	hora	97,83	38.016	3.719.105,28
Custo total					19.854.996,48

Fonte: EMPIA, 2020.

4.2. MÃO DE OBRA DIRETA

Na Tabela 25 tem-se a descrição dos colaboradores da mão de obra direta e sua respectiva quantidade. A quantidade de colaboradores seguiu os parâmetros de SELUR (2017) para um aterro sanitário com o porte equivalente ao de Montes Claros.

Tabela 25 – Distribuição de mão de obra

Item 4.2	Mão de Obra Direta	Quantidade
4.2.1	Engenheiro de Aterro	1
4.2.2	Engenheiro Trainee	1
4.2.3	Estagiário de Engenharia	1
4.2.4	Encarregado Geral	1
4.2.5	Encarregado de Turno	1
4.2.6	Servente de Aterro	11
4.2.7	Fiscal de Aterro	1
4.2.8	Eletricista	1
4.2.9	Armador/Soldador	1
	Total	19

Fonte: EMPIA, 2020.

A Tabela 26 mostra os custos da mão de obra direta durante a fase de operação. As descrições técnicas da mão de obra da Tabela 26 tiveram por embasamento os dados estipulados por SELUR (2017) para um aterro sanitário com o porte equivalente ao de Montes Claros. A determinação do custo unitário seguiu os valores de SINAPI (2020). Para o cálculo da quantidade de horas trabalhadas adotou-se 216 meses que corresponde a fase operação do aterro sanitário. Para o cálculo da



quantidade deve-se multiplicar o valor dos meses de operação pela quantidade de funcionários. Dentre os diferentes cargos de mão de obra direta têm-se um colaborador por função, já para a função Servente de Aterro contabilizou-se 11 colaboradores. Ao se multiplicar a quantidade de Serventes de Aterro pela quantidade de meses de operação (216) têm-se um total de 2.376 meses. O cálculo dos custos de cada colaborar foi feito da seguinte forma:

$$\text{Custo do colaborar} = \text{custo mensal} * \text{meses trabalhados na fase de operação}$$

Tabela 26 – Custos da mão de obra direta.

Item 4.2	Mão de Obra Direta	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
4.3.1	Engenheiro de Aterro	mês	15.054,86	216	3.251.849,76
4.3.2	Engenheiro Trainee	mês	1.341,79	216	289.826,64
4.3.3	Estagiário de Engenharia	mês	4.067,06	216	878.484,96
4.3.4	Encarregado Geral	mês	5.907,83	216	1.276.091,28
4.3.5	Encarregado de Turno	mês	5.907,83	216	1.276.091,28
4.3.6	Servente de Aterro	mês	1.710,50	2376	4.064.148,00
4.3.7	Fiscal de Aterro	mês	4.068,40	216	878.774,40
4.3.8	Eletricista	mês	2.615,10	216	564.861,60
4.3.9	Armador/Soldador	mês	2.614,92	216	564.822,72
Custo total					13.044.950,64

Fonte: EMPIA, 2020.

4.3. MÃO DE OBRA INDIRETA

Na Tabela 27 pode-se observar a mão de obra indireta e a respectiva quantidade de colaboradores:

Tabela 27 – Distribuição de mão de obra indireta.

Item 4.3	Mão de Obra Indireta	Quantidade
4.3.2	Supervisor Administrativo-Financeiro	1
4.3.3	Assistente Administrativo e de Pessoal	2
4.3.4	Auxiliar de Controle Operacional e de Custos	1
4.3.5	Auxiliar de Suprimentos	1
4.3.7	Técnico de Segurança do Trabalho	1



4.3.8	Apontador	1
4.3.9	Fiscal de balança	2
4.3.10	Copeira	1
4.3.11	Mecânico	1
4.3.12	Menor Aprendiz	1
4.3.13	Motorista Interno	1
	Total	13

Fonte: EMPIA, 2020.

A Tabela 28 apresenta os custos da mão de obra indireta. Para o cálculo da quantidade trabalhada adotou-se o período de meses da operação do aterro sanitário, 216 meses. O cálculo da quantidade é feito ao se multiplicar o valor dos meses de operação pela quantidade de funcionários. Dentre os diferentes cargos de mão de obra indireta (Tabela 27) as funções de Assistente Administrativo e de Pessoal e Fiscal de balança possuem dois colaboradores por função, já as demais funções possuem somente um colaborador para cada cargo. Para as funções de Assistente Administrativo e de Pessoal e Fiscal de balança têm-se:

$$\text{Quantidade} = \text{quantidade de colaboradores} * \text{meses da operação}$$

$$\text{Quantidade} = 2 * 216 \text{ meses} = 432 \text{ meses}$$

Para as demais funções tem-se:

$$\text{Quantidade} = \text{quantidade de colaboradores} * \text{meses da operação}$$

$$\text{Quantidade} = 1 * 216 \text{ meses} = 216 \text{ meses}$$

Para o cálculo dos custos foi feito:

$$\text{Custo do colaborar} = \text{custo mensal} * \text{meses trabalhados na fase de operação}$$

Tabela 28 – Custos da mão de obra indireta.

Item 4.3	Mão de Obra Inireta	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
4.3.1	Supervisor Administrativo-Financeiro	mês	2.251,41	216	486.304,56
4.3.2	Assistente Administrativo e de	mês	2.251,41	432	972.609,12



	Pessoal				
4.3.3	Auxiliar de Controle Operacional e de Custos	mês	2.003,82	216	432.825,12
4.3.4	Auxiliar de Suprimentos	mês	4.761,17	216	1.028.412,72
4.3.5	Técnico de Segurança do Trabalho	mês	3.891,51	216	840.566,16
4.3.6	Apontador	mês	2.552,82	216	551.409,12
4.3.7	Fiscal de balança	mês	6.923,43	432	2.990.921,76
4.3.8	Copeira	mês	1.841,51	216	397.766,16
4.3.9	Mecânico	mês	3.884,48	216	839.047,68
4.3.10	Menor Aprendiz	mês	1.887,64	216	407.730,24
4.3.11	Motorista Interno	mês	2.819,58	216	609.029,28
Custo total					9.556.621,92

Fonte: EMPIA, 2020.

4.4. SISTEMA DE DRENAGEM DE PERCOLADO/ BIOGÁS

Segundo SELUR (2017) esse sistema foi concebido para ser formado por dois elementos:

4.4.1 Dreno horizontal de percolado:

Como a degradação da matéria orgânica gera chorume e gases provenientes do processo biológico. A rede de drenagem tem por objetivo evitar a permanência do chorume no interior da massa de resíduos evitando assim as chances de instabilidade do maciço (GALLI, 2018).

As trincheiras do interior do maciço serão instaladas em cada nível do aterro na cota dos patamares, em formato de "estrela" partindo dos poços de captação de gás aos quais elas serão ligadas a fim de permitir o escoamento do chorume (SELUR, 2017). O arranjo e disposição real dos drenos dependerá de projeto executivo a ser realizado pelo município.

Conforme SELUR (2017) as trincheiras de um poço não serão interligadas com as trincheiras de um outro poço. Existirá uma distância mínima de 20 metros entre as trincheiras com o objetivo de limitar as interferências das áreas de influência de cada poço e não prejudicar o equilíbrio da rede de captação de gás. Na Tabela 31 tem-se os custos da operação do dreno vertical do percolado.



Para o cálculo do comprimento dos drenos horizontais (CDH) do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia foi realizada uma interpolação de dados para se ter uma aproximação confiável do valor procurado. Assim tomou-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se obter o CDH do aterro do Município de Montes Claros (Tabela 29). Assim calculou-se:

Tabela 29 – Interpolação da comprimento dos drenos horizontais (CDH).

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
CDH (m)	5.598	x	14.386

$$\frac{x - 5598}{14386 - 5598} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 5598}{14386 - 5598} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 5598}{14386 - 5598} = 0,1149$$

$$x - 5598 = 0,1149 * (14386 - 5598)$$

$$x = [0,1149 * (14386 - 5598)] + 5598 = 6607,74 \text{ m}$$

4.4.2 Dreno vertical de percolado:

Com base em SELUR (2017) os drenos verticais de percolado são compostos por tubos de concretos perfurados em coluna através das telas metálicas que os envolve, chegando até a superfície do aterro. Esse sistema é interligado em sua base aos drenos horizontais de captação de lixiviados. As interligações permitem que os drenos verticais de percolados funcionem também para os gases (CATAPRETA, 2008).

Para o cálculo do comprimento dos drenos verticais (CDV) de percolado do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia realizou-se uma interpolação de dados tomando-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se ter uma aproximação para o CDV do aterro do Município de



Montes Claros. Para isso empregou-se os dados da Tabela 30 e calculou-se:

Tabela 30 – Interpolação da comprimento dos drenos verticais (CDV).

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
CDV (m)	251	x	645

$$\frac{x - 251}{645 - 251} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 251}{645 - 251} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 251}{645 - 251} = 0,1149$$

$$x - 251 = 0,1149 * (645 - 251)$$

$$x = [0,1149 * (645 - 251)] + 251 = 296,27 \text{ m}$$

Na Tabela 31 têm-se os valores dos custos das obras dos drenos horizontal e vertical de percolado. As informações técnicas da Tabela 31 tiveram por embasamento os dados estipulados por SELUR (2017). Para a Tabela 31 foi realizado o cálculo dos valores de custo total de cada item e em seguida foi feita a soma do custo de cada item para se ter o custo total dos serviços de drenagem de percolado e gás. Para isso têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{quantidade}$$

Tabela 31 – Custos da drenagem de percolado e gás.

4.4	Custos da drenagem de percolado e gás				
	Descrição	Unidade	Custo unitário SINAPI (2020)	Quantidade	Custo total do item
4.4.1	Dreno horizontal de Percolado – Tubo de concreto para redes coletoras de esgoto sanitário, diâmetro de 500 mm	m	150,33	6.607,74	993.341,55



4.4.2	Dreno vertical de drenagem de percolado/gás – Tubo de concreto para redes coletoras de esgoto sanitário, diâmetro de 1000 mm	m	633,40	296,27	187.657,42
Custo total					1.180.998,97

Fonte: EMPIA, 2020.

4.5. COBERTURA OPERACIONAL DOS RESÍDUOS

A cobertura operacional do aterro será feita com a utilização de uma manta de sacrifício, que tem o objetivo de evitar a proliferação de vetores transmissores de doenças; controlar odores; controlar a presença de aves; evitar o arraste de resíduos por vento e chuva entre outros (CUIABÁ, 2020).

Para o cálculo do comprimento da manta de sacrifício do aterro de Montes Claros, capaz de receber 357,45 t/dia, foi realizada uma interpolação de dados tomando-se por referência os comprimentos das mantas de sacrifício de um aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e de um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017). Para a interpolação foi utilizado os dados da Tabela 32 e calculou-se:

Tabela 32 – Interpolação da comprimento da manta de sacrifício (CCPM).

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Comprimento da manta de sacrifício (m)	116591	x	221253

$$\frac{x - 116591}{221253 - 116591} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 116591}{221253 - 116591} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 116591}{221253 - 116591} = 0,1149$$

$$x - 116591 = 0,1149 * (221253 - 116591)$$

$$x = [0,1149 * (221253 - 116591)] + 116591 = 128616,66 \text{ m}$$



A Tabela 33 apresenta o custo da manta de sacrifício para a cobertura dos resíduos, seguindo as especificações técnicas seguiram indicações de SELUR (2017) na mesma tabela tem-se custo total do item. Para isso têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{quantidade}$$

Tabela 33 – Custos da cobertura operacional dos resíduos.

Item	Cobertura operacional dos resíduos				
	Descrição	Unidade	Custo unitário (SINAPI, 2020) R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
4.5					
4.5.1	Manta de sacrifício - manta, pead, geomembrana lisa, 0,50 mm	m ²	9,80	128.616,66	1.260.443,27
Custo total					1.260.443,27

Fonte: EMPIA, 2020.

4.6. SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL DAS ÁGUAS INCIDENTES SOBRE O ATERRO

Segundo SELUR (2017) o sistema de drenagem de águas foi concebido para ser composto pelos seguintes elementos:

4.6.1 Drenagem de patamares, pistas (canaleta 400mm):

Em concordância com as informações de SELUR (2017) serão instaladas canaletas de concreto pré-moldadas sobre os taludes de resíduos com a finalidade de redirecionar as águas pluviais que possam atingir os resíduos, evitando assim a percolação de água e conseqüentemente o aumento do chorume, a operação, os acessos das máquinas de compactação, caminhões de carga e descarga, etc.

Para o cálculo do comprimento das canaletas pré-moldadas (CCPM) de percolado do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia realizou-se uma interpolação de dados tomando-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de



receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se ter uma aproximação para o CCPM do aterro do Município de Montes Claros. Assim calculou-se com base nos dados da Tabela 34:

Tabela 34 – Interpolação da comprimento das canaletas pré-moldadas (CCPM).

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
CCPM (m)	5760	x	10480

$$\frac{x - 5760}{10480 - 5760} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 5760}{10480 - 5760} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 5760}{10480 - 5760} = 0,1149$$

$$x - 5760 = 0,1149 * (10480 - 5760) =$$

$$x = [0,1149 * (10480 - 5760)] + 5760 = 6302,33 \text{ m}$$

4.6.2 Tubo de concreto para atravessar pistas:

O tubo de concreto para atravessar pistas faz parte do sistema de descidas d'água do aterro. Consiste na possível drenagem de águas pluviais concomitantes a operação do aterro, pois possibilita a continuidade das obras e passagens de veículos tranquilamente pelas bermas do aterro. A Tabela 35 apresenta o custo de operação do tubo de concreto.

Para o cálculo do comprimento dos tubos para atravessar as pistas (CTP) de percolado do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia realizou-se uma interpolação de dados tomando-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se ter uma aproximação para o CTP do aterro do Município de Montes Claros. Para isso calculou-se:

Tabela 35 – Interpolação da comprimento dos tubos atravessar as pistas.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
-----------------	---------	---------------	-------



Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
CTP (m)	600	x	1080

$$\frac{x - 600}{1080 - 600} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 600}{1080 - 600} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 600}{1080 - 600} = 0,1149$$

$$x - 600 = 0,1149 * (1080 - 600)$$

$$x = [0,1149 * (1080 - 600)] + 600 = 655,15 \text{ m}$$

4.6.3 Descida d'água nos taludes (canaleta de gabião manta):

A descida d'água nos taludes tem a finalidade de coletar e escoar as águas das chuvas coletadas pelas canaletas no entorno do aterro, evitando assim os possíveis riscos de erosão nos taludes, conseqüentemente o arraste do solo e a perda de cobertura dos resíduos. São dimensionados de acordo com a área de contribuição, declividade, vazão contribuinte e a geometria. Tem como finalidade principal o esgotamento das águas nas plataformas, coletadas pelas canaletas instaladas no entorno do aterro (SELUR, 2017). A Tabela 38 apresenta o custo de operação das descidas d'água nos taludes do aterro sanitário.

Para o cálculo do comprimento canaleta de gabião manta de percolado do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia realizou-se uma interpolação de dados tomando-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se ter uma aproximação para o comprimento do gabião e manta do aterro do Município de Montes Claros. Para isso calculou-se com base nos dados da tabela 36:

Tabela 36 – Interpolação da comprimento da canaleta de gabião manta.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Canaleta de gabião manta (m)	2100	x	3998



$$\frac{x - 2100}{3998 - 2100} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 2100}{3998 - 2100} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 2100}{3998 - 2100} = 0,1149$$

$$x - 2100 = 0,1149 * (3998 - 2100)$$

$$x = [0,1149 * (3998 - 2100)] + 2100 = 2318,08 \text{ m}$$

4.6.4 Caixas de dissipação no pé de cada gabião manta:

As águas provenientes das canaletas e das descidas d'água são concentradas nas caixas de dissipação que está localizada no pé de cada gabião e posteriormente seguem por debaixo da berma por tubos de concreto até o desague no talude seguinte, no sentido a jusante do aterro, e assim sucessivamente. Para o cálculo do comprimento caixa de dissipação do aterro de Montes Claros capaz de receber 357,45 t/dia realizou-se uma interpolação de dados tomando-se por referência o aterro de pequeno porte capaz de receber 300 t/dia e um aterro de médio porte capaz de receber 800 t/dia (indicações de SELUR, 2017), para então se ter uma aproximação para o comprimento do gabião e manta do aterro do Município de Montes Claros. Para isso calculou-se com base nos dados da tabela 37:

Tabela 37 – Interpolação caixa de dissipação.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Caixas de dissipação (unidade)	20	x	27

$$\frac{x - 20}{27 - 20} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 20}{27 - 20} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 20}{27 - 20} = 0,1149$$

$$x - 20 = 0,1149 * (27 - 20)$$

$$x = [0,1149 * (27 - 20)] + 20 = 20,8 \text{ m}$$



A Tabela 38 mostra os custos do sistema de drenagem pluvial das águas incidentes sobre o aterro. A quantidade determinada nesta tabela teve por embasamento os valores estipulados por SELUR (2017) assim como as informações técnicas descritas, já o custo unitário foi definido com base no SINAPI (2020). Ainda na Tabela 38 pode-se observar o custo de cada item e o custo total do sistema de drenagem. Dessa forma têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{quantidade} =$$

Tabela 38 – Custos do sistema de drenagem pluvial das águas incidentes sobre o aterro.

4.6	Sistema de drenagem pluvial das águas incidentes sobre o aterro				
	Descrição	Unidade	Custo unitário SINAPI (2020) R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
4.6.1	Drenagem de patamares, pistas (canaleta 400 mm) - Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 400 mm	m	88,78	6.302,33	559.520,86
4.6.2	Tubo de concreto para atravessar pistas 400m	m	142,0	655,15	93.031,30
4.6.3	Descida água nos taludes - gabiao manta (colchao) malha hexagonal 6 x 8 cm, dimensoes 4,0 x 2,0 x 0,23 m	m	929,41	2.318,08	2.154.446,73
4.6.4	Caixas de dissipação no pé de cada gabião manta	unidade	1590,99	20,8	39.247,81
Custo total					2.846.246,70

Fonte: EMPIA, 2020.

4.7. TRATAMENTO DE PERCOLADO

O tratamento de percolado será feito por meio da contratação de empresa terceirizada que oferecerá os serviços de tratamento. Esta empresa fará todo o investimento necessário, para a coleta, transferência, manutenção e operação do sistema, sendo remunerada por m³ de percolado tratado. Foram consideradas as seguintes premissas:



- a) Sistema de tratamento por osmose reversa ou similar de igual eficiência e que seja capaz de promover tratamento no percolado de modo que o efluente tratado atenda os padrões de descarte de legislação (Conama 430);
- b) Local de implementação do aterro não dispõe de corpo hídrico com vazão suficiente para receber adequadamente o efluente tratado, assumindo-se a premissa que o descarte do mesmo deva ser feito em corpo hídrico externo ao empreendimento.

Para o conhecimento dos custos de tratamento do percolado do aterro do Município de Montes Claros foi calculada uma interpolação levando em consideração a quantidade de percolado gerado em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia) seguindo as orientações de SELUR, (2017). Para isso empregou-se os dados da Tabela 39 e em seguida calculou-se:

Tabela 39 – Interpolação de percolado gerado.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Quantidade de percolado gerado (m ³)	869047	x	1649688

$$\frac{x - 869047}{1649688 - 869047} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 869047}{1649688 - 869047} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 869047}{1649688 - 869047} = 0,1149$$

$$x - 869047 = 0,1149 * (1649688 - 869047)$$

$$x = [0,1149 * (1649688 - 869047)] + 869047 = 958742,65 \text{ m}^3$$

Para estimar a distância entre a estação de tratamento de percolado até o aterro sanitário de Montes Claros, utilizou-se como embasamento a distância entre o Aterro da Viasolo situado na Rodovia MG 308, s/n Km 15 Zona Rural, Montes Claros até a Estação De Tratamento De Esgotos da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, Montes Claros situada nas coordenadas 16°41'06.5"S



43°51'15.1"W, correspondendo a cerca de 30 km de distância.

Considerou-se que o percolato será coletado diariamente durante os 216 meses de operação do aterro uma vez ao dia (SELUR, 2017). Assim para o cálculo da quantidade tem-se:

$$\text{Quantidade} = \text{quantidade de dias de coleta} * \text{quantidade de coletas diárias} \\ * \text{distância percorrida} =$$

$$\text{Quantidade} = 30 \text{ dias} * 216 \text{ meses} * 1 * 30 \text{ km} = 216000 \text{ Km}$$

O custo do unitário estabelecido por SELUR (2017) considerou a composição das despesas relacionados ao tipo de veículo usado, custo com a mão de obra e com combustível. A Tabela 40 expõe o custo da operação do sistema de tratamento de percolato do aterro sanitário. Foi calculado o custo de cada item e em seguida foi realizada a soma do custo de todos os itens para se ter o custo total de operação do tratamento de percolados. Assim têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{IGPM}_{AC} * \text{quantidade} =$$

Tabela 40 – Custos da operação do sistema de tratamento de percolato.

4.7	Tratamento de percolato					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.7.1	Custo tratamento de percolato	m ³	60,00	1,186	958.742,65	68.224.126,97
4.7.2	Transporte de efluente (dist. 30 km)	km	0,50	1,186	216.000	128.088,00
Custo total						68.352.214,97

Fonte: EMPIA, 2020.

4.8. INSTRUMENTAÇÃO

Nos custos de operação foram consideradas as despesas necessárias para a instalação e manutenção de dois tipos de instrumentos de monitoramento geotécnico



do maciço. As indicações técnicas seguiram as indicações de SELUR (2017):

4.8.1 Piezômetros:

SELUR (2017) indica que os instrumentos construídos no interior do maciço do aterro sanitário possibilitam calcular os valores ou níveis de pressões neutras (níveis piezométricos) no interior do maciço, oriundos da existência do percolado e biogás. São construídos geralmente com perfuratriz de hélice contínua e utilizados, basicamente, para sua construção, tubos de PVC, brita, areia e bentonita. SELUR (2017) indica que os piezômetros devem ser construídos com profundidade de 20 m, o arranjo da disposição destes piezômetros dependerá de projeto executivo a ser realizado pelo município.

Assim para estimar a quantidade de piezômetros foi realizada uma interpolação com base na quantidade de piezômetros usadas em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia) seguindo as orientações de SELUR (2017). A Tabela 41 mostra os dados de referência usados na interpolação. Já a Tabela 43 mostra os custos de operação dos instrumentos do aterro. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 41 – Interpolação da quantidade de piezômetros.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Piezômetros (unidades)	101	x	192

$$\frac{x - 101}{192 - 101} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 101}{192 - 101} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 101}{192 - 101} = 0,1149$$

$$x - 101 = 0,1149 * (192 - 101)$$

$$x = [0,1149 * (192 - 101)] + 101 = 111,46 \cong 112 \text{ unidades}$$

4.8.2 Marcos superficiais:



Marcos superficiais são instrumentos instalados na superfície do aterro, que tem a finalidade de registrar, por acompanhamento, as movimentações do maciço de resíduos, permitindo a medição de deslocamentos horizontais e verticais.

Para estimar a quantidade de marcos superficiais do aterro de Montes Claros foi realizada uma interpolação com base na quantidade de peizômetros usadas em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia) seguindo as orientações de SELUR (2017). A Tabela 42 mostra os dados de referência usados na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 42 – Interpolação quantidade de marcos superficiais.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Marcos Superficiais (unidades)	10	x	19

$$\frac{x - 10}{19 - 10} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 10}{19 - 10} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 10}{19 - 10} = 0,1149$$

$$x - 10 = 0,1149 * (19 - 10)$$

$$x = [0,1149 * (19 - 10)] + 10 = 11,03 \cong 12 \text{ unidades}$$

A Tabela 43 descreve o custo da operação dos instrumentos do aterro sanitário. A Tabela 43 seguiu os valores de custos determinados por SELUR (2017). Foi calculado o custo de cada item e em seguida foi realizada a soma do custo de todos os itens para se ter o custo total da operação dos instrumentos do aterro sanitário. Assim têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$



Tabela 43 – Custos da operação dos instrumentos.

4.7	Instrumentação					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.7.1	Piezômetros	unidade	450	1,186	112	59.774,40
4.7.2	Marcos superficiais	unidade	45	1,186	12	640,44
Custo total						60.414,84

Fonte: EMPIA, 2020.

4.9. MANUTENÇÃO EM GERAL

Os custos de manutenção seguiram os valores de custo estabelecidos pela metodologia de SELUR (2017) e compreendem os seguintes itens:

4.9.1 Vias Externas/Vias Gerais internas:

O sistema viário do aterro é submetido a esforços intensos determinados pelo constante fluxo de veículos e equipamentos pesados. É fundamental programar e executar um conjunto de serviços de recuperação, manutenção, conservação e melhoria das vias do aterro quanto à sua pavimentação, no caso do sistema viário, a manutenção é principalmente corretiva. No entanto danos constatados nas estruturas das vias são consertados antes de tomarem grandes proporções.

Foram considerados os custos relativos à manutenção da largura das vias em condições de garantir o fluxo de veículos, com caimento transversal de aproximadamente 2% de declividade de modo a propiciar o escoamento das águas pluviais, o preenchimento de buracos e depressões, sempre que se formarem, com o lançamento e compactação de solo e brita; a realização de serviços de limpeza e quando for o caso reparos no sistema de drenagem das vias e do aterro. A Tabela 46 decreve os custos da manutenção das vias.

Para uma estimativa da área de vias externas considerou-se a área de do Aterro da Viasolo a partir da MG 308 até a sede administrativa do aterro, já para estimar a área das vias internas considerou-se o perímetro da área operacional do aterro, como descrito no Item 3.5 deste produto.



Para as vias externas foi medido 580 m de comprimento de vias por 6 metros de largura, totalizando 3.480 m². Para as vias internas o perímetro é 1902,40 m (≅1903) por 6 metros, totalizando 11418. A soma das áreas das vias externas e internas é de 14898 m². A manutenção das vias deve ser realizada periodicamente ou quando houver necessidade. Para estimativa de custo considerou-se que será realizada a manutenção em toda a área de vias do aterro.

4.9.2 Manutenção da sinalização:

Considerou-se os custos relativos à manutenção da iluminação do sistema viário (troca de lâmpadas e controle das instalações elétricas conforme normas ABNT). A manutenção das vias deve ser realizada periodicamente ou quando houver necessidade. Para estimativa de custo considerou-se que será realizada a manutenção em toda a área do sistema viário.

4.9.3 Manutenção das canaletas de drenagem superficial sobre resíduos:

A particularidade das obras de canaletas de drenagem superficial é o fato delas serem construídas sobre os resíduos o que implica eventuais aparições de pontos baixos. Esses pontos baixos devem ser identificados o mais rápido possível para que medidas preventivas de eliminação do problema sejam tomadas. Tal atitude é importante para evitar o vazamento das águas, o que pode causar a destruição das vias de acesso, riscos para o trânsito dos caminhões e erosão acentuada dos taludes.

Esta manutenção pode ser preventiva por meio da inspeção das canaletas e obras de drenagem das águas superficiais, retirada dos elementos que prejudicam o bom escoamento das águas, conserto das canaletas desde a aparição dos primeiros fenômenos de depredação (fissura, erosão nos bordos das canaletas, desajustamento das continuidades da rede...), e conserto imediato das obras destruídas.

Para estimar a quantidade de manutenção das canaletas para o aterro de Montes Claros foi realizada uma interpolação com base na quantidade de de manutenção realizada na recomendação técnica de SELUR (2017) em um aterro de pequeno pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia). Na Tabela 44 tem-se os dados de referência usados



na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 44 – Interpolação da comprimento da canaleta de gabião manta.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Manutenção das canaletas (m ²)	2074	x	3773

$$\frac{x - 2074}{3773 - 2074} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 2074}{3773 - 2074} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 2074}{3773 - 2074} = 0,1149$$

$$x - 2074 = 0,1149 * (3773 - 2074)$$

$$x = [0,1149 * (3773 - 2074)] + 2074 = 2269,22 \cong 2270 \text{ m}^2$$

4.9.4 Manutenção das descidas de drenagem superficial (gabião manta):

Essas obras são estruturas flexíveis que acompanham os movimentos previstos na estrutura do maciço, o que limitará as necessidades de intervenção para manutenção.

Essas operações de manutenção são relativamente pesadas e compreenderão os seguintes serviços:

- Desmontagem do colchão Reno no comprimento necessário;
- Retificação do perfil da obra de drenagem com argila compactada em camada de 25 cm de espessura e escavação da forma de drenagem em seguida;
- Reposicionamento do colchão Reno.
- Inspeção dos gabiões e obras de drenagem das águas superficiais;
- Retirada dos elementos prejudicando o bom escoamento das águas;
- Conserto dos gabiões desde a aparição dos primeiros fenômenos de destruição (erosão nos bordos, desajustamento, ruptura de tela metálica, ...).

Para a estimar a quantidade de manutenção da drenagem superficial de gabião manta do aterro de Montes Claros foi realizada uma interpolação com base na quantidade de de manutenção realizada na recomendação técnica de SELUR (2017)



em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia). Na Tabela 45 tem-se os dados de referência usados na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 45 – Interpolação da manutenção de gabião manta.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Manutenção do gabião manta (m ²)	756	x	1439

$$\frac{x - 756}{1439 - 756} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 756}{1439 - 756} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 756}{1439 - 756} = 0,1149$$

$$x - 756 = 0,1149 * (1439 - 756)$$

$$x = [0,1149 * (1439 - 756)] + 756 = 834,48 \cong 835 \text{ m}^2$$

4.9.5 Manutenção de Prédios e Galpões:

Se trata da manutenção e renovação de todas as instalações prediais presentes no aterro tais como escritório, guarita, almoxarifados, alojamentos, vestiários, etc. A manutenção/renovação das instalações contará os seguintes serviços:

- Remoção de mofo, com raspagem e pinturas periódica das paredes;
- Troca dos elementos como pisos e revestimentos;
- Conserto na cobertura e troca das telhas das edificações;
- Limpeza diária de todas as instalações;
- Dedetização e desratização de alojamentos, escritórios e outras dependências do aterro.

As áreas de construção civil do aterro de Montes Claros foram descritos no item 3.10 e são: portaria, casa de balança, escritório, galpão para equipamentos, almoxarifado, oficina vestiário alojamento e refeitório. A quantidade descrita na Tabela será feita mensalmente em todos os 216 meses de operação. O custo da manutenção



predial consta na Tabela 46.

4.9.4 Manutenção de cercas:

A manutenção das cercas é feita de modo que se observe se os arames estejam em bom estado de utilização e não estejam enferrujados ou cortados. Os portões de acesso ao aterro deverão ter pintura em sua estrutura para evitar que essas partes enferrujem. A manutenção das cercas deve garantir um bom isolamento da área do aterro.

A quantidade estipulada na Tabela 46 para a manutenção das cercas tomou-se como base 1903 m (valor real:1.902,40 m) que corresponde ao perímetro da área operacional do aterro.

A Tabela 46 apresenta o custo da manutenção do aterro sanitário. A quantidade apresentada nesta tabela teve por embasamento os valores determinados por SELUR (2017). Foi calculado o custo de cada item e em seguida foi realizada a soma do custo de todos os itens para se ter o custo total da manutenção. Assim têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$

Tabela 46 – Custos da manutenção geral.

4.9	Manutenção em geral					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.9.1	Manutenção de vias externas	m ²	12,80	1,186	14898	226.163,56
4.9.2	Manutenção da sinalização	m ²	20,56	1,186	14898	363.275,22
4.9.3	Manutenção das canaletas de drenagem superficial fora dos resíduos	m ²	205,37	1,186	2270	552.901,22
4.9.4	Manutenção das descidas de de drenagem superficial (gabião manta)	m ²	26,05	1,186	835	25.797,58
4.9.5	Manutenção de prédios e galpões	mês	5.031,97	1,186	216	1.289.069,95
4.9.6	Manutenção de cercas	m	20,17	1,186	1903	45.522,84
Custo total						2.502.730,36

Fonte: EMPIA, 2020.



4.10. CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA, ÁGUA, TELEFONE E INTERNET

Foram considerados os custos relativos às despesas com energia/água/telefone/internet. A Tabela 49 indica o custo da manutenção do aterro sanitário.

A quantidade de água gasta para o aterro de Montes Claros foi estimada por meio de uma interpolação com base na quantidade de água consumida em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia), com base nas orientações de SELUR (2017). Na Tabela 47 tem-se os dados de referência usados na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 47 – Interpolação para saber o consumo de água.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Consumo de água (m ³)	21016	x	56042

$$\frac{x - 21016}{56042 - 21016} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 21016}{56042 - 21016} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 21016}{56042 - 21016} = 0,1149$$

$$x - 21016 = 0,1149 * (56042 - 21016)$$

$$x = [0,1149 * (56042 - 21016)] + 21016 = 25040,5 \text{ m}^3$$

Para descobrir a quantidade de m³ consumidos mensalmente deve-se dividir esse valor pelo período total de operação do projeto de SELUR (2017) que é de 216 meses. Assim calcula-se:

$$m^3 \text{ consumidos} = \frac{\text{consumo de água}}{216 \text{ meses}} =$$

$$m^3 \text{ consumidos} = \frac{25040,5}{216 \text{ meses}} = 115,9 \text{ m}^3$$



Segundo a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG) o custo do m³ de um empreendimento público que consome mais de 40 até 200 m³ de água por mês é de R\$ 10,73 (ARSAE, 2020).

A quantidade de quilowatt (energia elétrica) gasta para o aterro de Montes Claros foi estimada por meio de uma interpolação com base na quantidade de energia elétrica consumida em um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia), com base nas orientações de SELUR (2017). Na Tabela 48 tem-se os dados de referência usados na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 48 – Interpolação da quantidade quilowatt gasta.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Consumo de energia (Kwh)	602.134,00	x	1.605.691,00

$$\frac{x - 602134}{1605691 - 602134} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 602134}{1605691 - 602134} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 602134}{1605691 - 602134} = 0,1149$$

$$x - 602134 = 0,1149 * (1605691 - 602134)$$

$$x = [0,1149 * (1605691 - 602134)] + 602134 = 717.442,70 \text{ Kwh}$$

O consumo de energia elétrica foi calculado considerando o custo do KWh/rural da COMING – Companhia Energética de Minas Gerais (COMING, 2020).

O consumo de internet foi calculado seguindo a referência de plano da operadora vivo que possui cobertura na área. O plano descrito na Tabela 49 possui 200 mega de internet e telefone fixo ilimitado (VIVO, 2020).

O valor dos custos determinados na Tabela 49 tiveram por referência os valores determinados por SELUR (2017). Foi calculado o custo de cada item e em seguida foi



realizada a soma do custo de todos os itens para se ter o custo total. Nesse sentido têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{quantidade} =$$

Tabela 49 – Custos com energia elétrica, água, telefone e internet.

4.10 Custos com energia elétrica, água, telefone e internet.					
	Descrição	Unidade	Custo unitário R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
4.10.1	Consumo de energia	kWh	0,47	797.158,55	374.664,52
4.10.2	Consumo de água	m ³	10,73	25.040,5	289.468,18
4.10.3	Consumo de telefone e internet	mês	169,98	216	36.715,68
Custo total					751.910,00

Fonte: EMPIA, 2020.

4.11. OPERAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO

4.11.1 Sistema de monitoramento das águas subterrâneas:

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas permitirá uma avaliação integrada da qualidade dos líquidos percolados no maciço do aterro com as águas superficiais, subterrâneas e águas dos aquíferos. O monitoramento será realizado por meio da coleta e análises laboratoriais de amostras de água nos pontos de amostragem selecionados e poços de monitoramento instalados.

A coleta de amostras será efetivada na frequência indicada pelos órgãos ambientais. Ela será realizada por técnicos especializados munidos de frascos adequados, considerando todos os parâmetros a serem analisados. A primeira etapa da coleta é o esgotamento dos poços, até a condição necessária à garantia da qualidade das amostras, em seguida será realizada a coleta e o encaminhamento para o laboratório, onde serão realizadas as análises laboratoriais e emissão de laudos e relatórios finais, a serem encaminhados ao órgão ambiental competente.

Para a estimativa de custos as análises da qualidade das águas serão



realizadas mensalmente ao longo dos 216 meses de operação do aterro. A Tabela 50 apresenta o custo de monitoramento das águas subterrâneas .

4.11.2 Monitoramento e análise de águas superficiais:

O monitoramento das águas superficiais fundamenta-se em critérios preventivos, procurando estabelecer um mecanismo que permita identificar a ocorrência de alterações nos padrões de qualidade ambiental das águas, decorrente da operação do aterro, para que medidas preventivas e/ou corretivas possam ser adotadas, antes que qualquer eventual contaminação possa se propagar além da área do empreendimento. Tendo corpo hídrico na região próxima ao aterro, serão realizadas análises de controle da qualidade das águas na seguinte lógica: i) Retirada de amostra do corpo hídrico à montante do aterro; ii) Retirada de amostra do corpo hídrico à jusante do aterro.

Da mesma maneira que o monitoramento de águas subterrâneas, a coleta de amostras será efetivada na frequência adequada, de acordo com os pedidos dos órgãos ambientais, por técnicos especializados, munidos de frascos adequados, considerando todos os parâmetros a serem analisados.

O monitoramento e análise de águas superficiais será realizado bimestralmente (SELUR, 2017) ao longo dos 216 meses de operação do aterro, assim ao se dividir 216 meses por 2 tem-se 108 relatórios de monitoramento. A Tabela 50 apresenta o custo do monitoramento das águas superficiais.

4.11.3 Monitoramento e análise de percolado:

O monitoramento de líquidos percolados visa documentar, sistematizar e verificar a qualidade do percolado bruto que será encaminhado para o tratamento na ETE.

As amostras são coletadas em pontos definidos do aterro sanitário. A coleta será efetivada na frequência estipulada pelo órgão ambiental, por técnicos especializados, munidos de frascos adequados, considerando todos os parâmetros a serem analisados. As coletas das amostras serão encaminhadas para o laboratório, onde serão efetivadas as análises laboratoriais e emissão de laudos e relatórios finais,



a serem destinadas ao órgão ambiental.

Para esta estimativa de custo o monitoramento de líquidos percolados será realizado trimestralmente (SELUR, 2017) ao longo dos 216 meses de operação do aterro, ao se dividir 216 meses por 3 meses tem-se um total de 72 relatórios. A Tabela 50 apresenta o custo do monitoramento do percolado.

4.11.4 Monitoramento geotécnico:

Segundo Selur (2017) o monitoramento geotécnico se trata do registro dos dados referentes a todos os eventos que ocorrem durante a operação, a conformação geométrica do aterro, além dos dados obtidos através da instrumentação. As informações de monitoramento devem ser analisadas por equipe composta por engenheiros e técnicos especialistas na área de Geotécnica. A frequência é determinada pelo órgão ambiental.

O monitoramento geotécnico no Aterro Sanitário será efetivado através da implantação de três sistemas de monitoramento, a saber:

- a. Monitoramento topográfico de recalques e da evolução do volume disposto;
- b. Monitoramento dos deslocamentos horizontais do maciço e do nível interno de percolado;
- c. Medição dos Níveis Piezométricos no Interior do Maciço de Resíduos;
- d. Estudos de estabilidade (Execução do Estudo Computacional).

Para esta estimativa considerou-se que o monitoramento da análise geotécnica será realizado de quatro em quatro meses (SELUR, 2017) ao longo dos 216 meses de operação do aterro, ao se dividir 216 meses por 4 meses tem-se um total de 54 relatórios. O custo da análise geotécnica está na Tabela 50.

4.11.5 Monitoramento da qualidade do ar e emissões gasosas.

O monitoramento de gases no maciço do aterro sanitário visa identificar alterações na qualidade do ar e demais problemas relativos à drenagem de gases e percolado, e de estabilidade de taludes, possibilitando assim, o estabelecimento de medidas corretivas.

Para esta estimativa o monitoramento de gases no maciço do aterro será



realizado em trimestralmente (SELUR, 2017) correspondendo a 72 relatórios durante os 216 meses de operação do aterro. A Tabela 50 descreve os custos do monitoramento ambiental e geotécnico do aterro sanitário.

Os valores custos foram determinados por SELUR (2017). Em seguida foi calculado o custo de cada item e foi realizada a soma do custo de todos os itens para se ter o custo total do monitoramento do aterro sanitário. Assim têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$

Tabela 50 – Monitoramento ambiental e geotécnico.

4.11	Monitoramento					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.11.1	Monitoramento e análise de águas subterrâneas	análise	2.000,00	1,186	216	512.352,00
4.11.2	Monitoramento e análise de águas superficiais	análise	2.000,00	1,186	108	256.176,00
4.11.3	Monitoramento e análise de percolado	análise	2.000,00	1,186	72	170.784,00
4.11.4	Monitoramento geotécnico (relatórios)	relatório	3.750,00	1,186	54	13.152,72
4.11.5	Monitoramento de qualidade do ar e emissões gasosas	análise	2.000,00	1,186	72	320.220,00
Custo total						1.272.684,72

Fonte: EMPIA, 2020.

4.12. VIGILÂNCIA

Para a composição dos custos da vigilância foram considerados os custos necessários à realização da segurança patrimonial do local, inibindo a entrada de pessoas não autorizadas. Sugere-se a terceirização dos serviços de vigilância.

Para a elaboração desta estimativa dos custos foi considerado que trabalharão dois colaboradores por turno numa jornada de 12 horasx36, totalizando 8 trabalhadores. Segundo o Ministério da Economia (2019) a despesa mensal do colaborar da área de vigilância para os cofres públicos é:



- Um vigilante em trabalho diurno 12x36 horas totaliza um custo mensal de R\$ 6739,98;

- Um vigilante em trabalho noturno 12x36 horas, totaliza um custo mensal de R\$ 8094,01;

Assim tem-se:

Custo vigilantes

$$= (\text{vigilante diurno} * \text{quantidade}) + (\text{vigilante noturno} * \text{quantidade})$$

=

$$\text{Custo vigilantes} = (6.739,98 * 4) + (8.094,01 * 4) =$$

$$\text{Custo vigilantes} = (26.959,92) + (32.376,04) = 59.335,96$$

O custo da vigilância foi calculado mesalmente para o total de 216 meses durante todo o período de operação do aterro sanitário. Para isso têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * \text{IGPM}_{AC} * \text{quantidade} =$$

Tabela 51 – Custos da vigilância.

4.12	Vigilância				
	Descrição	Unidade	Custo unitário R\$	Quantidade	Custo total do item R\$
4.12.1	Vigilância	Vb.R\$/mês	59.335,96	216	12.816.567,36
Custo total					12.816.567,36

Fonte: EMPIA, 2020.

4.13. DESPESAS ADMINISTRATIVAS

Foram considerados os custos necessários à viabilização dos serviços tais como aluguel de imóveis, aluguel de veículos, combustível, materiais em geral, impostos, licenciamentos e seguros, despesas com viagens etc.

A Tabela 53 apresenta da despesas administrativas do aterro. O valor da composição dos custos das despesas administrativas foi estipulado por SELUR



(2017). Para estimar o valor das despesas administrativas para o aterro de Montes Claros (capacidade de 357,45 t/dia) foi feita uma interpolação com base nos custos de um aterro de pequeno pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia) Na Tabela 52 tem-se os dados de referência usados na interpolação. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 52 – Interpolação dos custos das despesas administrativas.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Custo despesas administrativas (R\$)	4060800,00	x	5011200,00

$$\frac{x - 4060800}{5011200 - 4060800} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 4060800}{5011200 - 4060800} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 4060800}{5011200 - 4060800} = 0,1149$$

$$x - 4060800 = 0,1149 * (5011200 - 4060800)$$

$$x = [0,1149 * (5011200 - 4060800)] + 060800 = 4170000,96$$

Este custo refere-se as despesas administrativas dependidas durante o período de 216 meses, que se trata do período de operação do projeto de SELUR (2017). Para se ter o valor mensal tem-se:

$$\text{Custo mensal despesas administ. (R\$)} = \frac{\text{Despesas adminstrativas}}{\text{Período de operação de Selur (2017)}} =$$

$$\text{Custo mensal despesas administ. (R\$)} = \frac{4170000,96}{216} = 19.305,56$$

Na Tabela 53 pode-se observar o custo total. Para o cálculo do custo forma têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo mensal despesas administ.} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$



Tabela 53 – Custos das despesas administrativas.

4.13	Despesas administrativas					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.13.1	Despesas administrativas locais (indiretas locais)	Vb.R\$.mês	19305,56	1,186	216	4.945.621,14
Custo total						4.945.621,14

Fonte: EMPIA, 2020.

4.14. OPERAÇÃO DO SISTEMA CENTRALIZADO DE COLETA E QUEIMA DE BIOGÁS

Considerou-se a execução de uma queima centralizada em local específico para todo os poços do aterro considerado. Não foi considerada a geração de energia² com a queima de biogás.

A Tabela 55 apresenta da despesas com a operação do sistema de queima e coleta de biogás. O valor da composição dos custos das despesas administrativas foi estipulado por SELUR (2017) somente para um aterro de médio porte. Para estimar com confiabilidade o valor dos custos para o aterro de Montes Claros foi feita uma proporção. Na Tabela 54 tem-se os dados de referência usados na proporção. Para o cálculo da proporção têm-se:

Tabela 54 – Interpolação das despesas com operação do sistema de biogás.

Porte do aterro	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	357,45	800
Despesas com operação do sistema de biogás (R\$)	x	9720000

² No presente trabalho se considerou a captação e a queima do biogás, mas não a geração de energia com essa queima. Essa hipótese simplificadora foi adotada porque considerou-se que a modelagem econômica desse negócio (geração de energia a partir de biogás) é extremamente complexa e de difícil previsibilidade. Sua inclusão no trabalho contaminaria os resultados que se pretendia obter.



$$\frac{357,45}{x} = \frac{800}{9720000}$$
$$357,45 * 9720000 = 800 * x$$
$$\frac{357,45 * 9720000}{800} = x$$
$$x = 41.428.455,00$$

Este custo refere-se as despesas administrativas despendidas durante o período de 216 meses, que se trata do período de operação do projeto de SELUR (2017). Para se ter o valor mensal tem-se:

$$\text{Custo mensal operação do s. biogás (R\$)} = \frac{\text{Despesas operação do s. de biogás (R\$)}}{\text{Período de operação de Selur (2017)}} =$$
$$\text{Custo mensal operação do s. biogás (R\$)} = \frac{4170000,96}{216} = 191.798,40$$

Assim na Tabela 55 pode-se observar o custo total do item, considerando que o período de operação do aterro de Montes Claros é 216 meses. Dessa forma têm-se:

$$\text{Custo total} = \text{Custo mensal operação do s. biogás} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$

Tabela 55 – Custos da coleta e queima do biogás.

4.14	Coleta e queima do biogás					
	Descrição	Unidade	Custo unitário (2017) R\$	IGPM _{AC}	Quantidade	Custo total do item R\$
4.14.1	Coleta e queima do biogás	vb R\$	191.798,40	1,186	216	49.134.146,92
Custo total						49.134.146,92

Fonte: EMPIA, 2020.

A planilha 4 apresenta a reunião de todos os custos referentes a etapa de



operação do aterro sanitário.



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Planilha 4– Custos da etapa operação do aterro sanitário.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL (R\$)
4	OPERAÇÃO				
4.1	EQUIPAMENTOS (ALUGUEL COM OPERADOR E COMBUSTÍVEL)				19.854.996,48
4.1.1	Trator Esteira D6	hora	137,92	38.016	5.243.166,72
4.1.2	Escavadeira Hidráulica	hora	110,57	38.016	4.203.429,12
4.1.3	Retro Escavadeira	hora	78,13	38.016	2.970.190,08
4.1.4	Caminhão Basculante 6 m ³ (Transporte de solo)	hora	97,83	38.016	3.719.105,28
4.1.5	Caminhão Basculante 6 m ³ (Transporte de solo)	hora	97,83	38.016	3.719.105,28
4.2	MÃO DE OBRA DIRETA				13.044.950,64
4.2.1	Engenheiro de Aterro	mês	15054,86	216	3.251.849,76
4.2.2	Engenheiro Trainee	mês	1341,79	216	289.826,64
4.2.3	Estagiário de Engenharia	mês	4067,06	216	878.484,96
4.2.4	Encarregado Geral	mês	5907,83	216	1.276.091,28
4.2.5	Encarregado de Turno	mês	5907,83	216	1.276.091,28
4.2.6	Servente de Aterro	mês	1710,50	2.376	4.064.148,00
4.2.7	Fiscal de Aterro	mês	4068,40	216	878.774,40
4.2.9	Eletricista	mês	2615,10	216	564.861,60
4.2.17	Armador/Soldador	mês	2614,92	216	564.822,72
4.3	MÃO DE OBRA INDIRETA				9.556.621,92
4.3.1	Supervisor Administrativo-Financeiro	mês	2.251,41	216	486.304,56
4.3.2	Assistente Administrativo e de Pessoal	mês	2.251,41	432	972.609,12
4.3.3	Auxiliar de Controle Operacional e de Custos	mês	2.003,82	216	432.825,12
4.3.4	Auxiliar de Suprimentos	mês	4.761,17	216	1.028.412,72



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

4.3.5	Técnico de Segurança do Trabalho	mês	3.891,51	216	840.566,16
4.3.6	Apontador	mês	2.552,82	216	551.409,12
4.3.7	Fiscal de balança	mês	6.923,43	432	2.990.921,76
4.3.8	Copeira	mês	1.841,51	216	397.766,16
4.3.9	Mecânico	mês	3.884,48	216	839.047,68
4.3.10	Menor Aprendiz	mês	1.887,64	216	407.730,24
4.3.11	Motorista Interno	mês	2.819,58	216	609.029,28
4.4	DRENAGEM DE PERCOLADO E GÁS NA MASSA DE RESÍDUOS				1.180.998,97
4.4.1	Dreno Horizontal de Percolado - Tubo de concreto para redes coletoras de esgoto sanitário, diâmetro de 500 mm	m	150,33	6.607,74	993.341,55
4.4.2	Dreno vertical de drenagem de percolado/gás - Tubo de concreto para redes coletoras de esgoto sanitário, diâmetro de 1000 mm	m	633,40	296,27	187.657,42
4.5	COBERTURA OPERACIONAL DOS RESÍDUOS				1.260.443,27
4.5.1	Manta de sacrifício - manta, pead, geomembrana lisa, 0,50 mm	m ²	9,80	128.616,66	1.260.443,27
4.6	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS SOBRE O ATERRO				2.846.246,70
4.6.1	Drenagem de patamares, pistas (canaleta 400 mm) - Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 400 mm	m	88,78	6.302	559.520,86
4.6.2	Tubo de concreto para atravessar pistas	m	142	655	93.031,30
4.6.3	Descida água nos taludes (canaleta de gabião manta)	m	929,41	2.318	2.154.446,73
4.6.4	Caixas de dissipação no pé de cada gabião manta	unidade	1590,99	20,8	39.247,81
4.7	TRATAMENTO DE PERCOLADO				68.352.214,97
4.7.1	Custo operação por m ² interno (BOT)	m ²	60,00	958742,65	68.224.126,97
4.7.2	Transporte de efluente tratado para descarte (dist. 20-20-30-50 km)	km	0,50	216.000	128.088,00
4.8	INSTRUMENTAÇÃO				60.414,84



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

4.8.1	Piezômetros	unidade	450	112	59.774,40
4.8.2	Marcos superficiais	unidade	45	12	640,44
4.9	MANUTENÇÃO DAS OBRAS / FORNECIMENTOS DIVERSOS				2.502.730,36
4.9.1	Manutenção de vias externas e internas	m ²	12,80	14898	226.163,56
4.9.3	Manutenção das canaletas de dren superficial sobre resíduos	m ²	20,56	14898	363.275,22
4.9.4	Manutenção das descidas de de drenagem superficial (gabião manta)	m ²	205,37	2270	552.901,22
4.9.5	Manutenção das canaletas de drenagem superficial fora dos resíduos	m ²	26,05	835	25.797,58
4.9.6	Manutenção de prédios e galpões	mês	5.031,97	216	1.289.069,95
4.9.7	Manutenção de cercas	m ²	20,17	1903	45.522,84
4.10	FLUIDOS (ELETRICIDADE, ÁGUAS, ETC.)				751.910,00
4.10.1	Consumo de energia (sem tratamento percolado)	kWh	0,47	797.158,55	374.664,52
4.10.2	Consumo de água	m ³	11,56	25.040,5	289.468,18
4.10.3	Consumo de telefone e internet	mês	169,98	216	36.715,68
4.11	MONITORAMENTO				1.272.684,72
4.11.1	Monitoramento e análise de águas subterrâneas	análise	2.000,00	216	512.352,00
4.11.2	Monitoramento e análise de águas superficiais	análise	2.000,00	108	256.176,00
4.11.3	Monitoramento e análise de percolado	análise	2.000,00	72	170.784,00
4.11.4	Monitoramento geotécnico (relatórios)	relatório	205,37	54	13.152,72
4.11.5	Monitoramento de qualidade do ar e emissões gasosas	análise	3.750,00	72	320.220,00
4.12	VIGILÂNCIA				12.816.567,36
4.12.1	Vigilância	R\$/mês	59.335,96	216	12.816.567,36
4.13	OUTRAS DESPESAS OPERACIONAIS				4.945.621,14



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

4.13.1	Despesas administrativas locais (indiretas locais)	vb R\$	19305,56	216	4.945.621,14
4.14	SISTEMA DE CAPTAÇÃO E QUEIMA DE BIOGÁS				49.134.146,92
4.14.1	Despesas administrativas locais (indiretas locais)	vb R\$	191798,40	216	49.134.146,92
TOTAL OPERAÇÃO					187.580.548,29

Fonte: EMPIA, 2020.



5. ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Os aterros sanitários, de uma forma generalizada, possuem uma vida útil de 20 a 25 anos. Assim, após sua vida útil, devem ser encerrados de uma forma adequada, que minimize os impactos ambientais causados. Porém, mesmo após o seu adequado encerramento, os sistemas de drenagem superficial de águas pluviais e de tratamento de líquidos percolados e gases devem continuar operando. Considera-se um período de aproximadamente 30 anos para que esses sistemas continuem em operação, sendo um tempo adequado e suficiente para que os resíduos ali dispostos alcancem condições de relativa estabilidade, ou seja, seus processos biológicos naturais param de ser produzidos. Após sua estabilização, a área do aterro pode ser utilizada para outros fins, sendo comum o seu uso para fins recreativos, como parques e campos de esportes.

Dessa maneira, com o objetivo de minimizar a necessidade de manutenção futura da área de um aterro sanitário e ainda minimizar ou até evitar a liberação de líquido percolado contaminado e/ou gases para o lençol freático, mananciais superficiais ou para a atmosfera, a norma NBR 13896/1997 estabelece a necessidade de elaboração de um plano de encerramento e cuidados para fechamento de um aterro. Deve-se ter consciência de que o solo está sendo utilizado temporariamente e que poderá ser usado para novas atividades futuramente, visando, dessa maneira, a proteção ambiental e evitando a transformação da área em foco de poluição. Ainda, deve-se garantir um ambiente saudável para a população da região. A ABNT (1997) estabelece os requisitos mínimos que devem estar presentes no plano de encerramento. São eles:

- Os métodos e as etapas a serem seguidas no fechamento total ou parcial do aterro;
- O projeto e construção da cobertura final, de forma a minimizar a infiltração de água na célula, exigir pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro;



- A data aproximada para o início das atividades de encerramento;
- Uma estimativa dos tipos e da quantidade de resíduos que devem estar presentes no aterro, quando encerrado;
- Usos programados para a área do aterro após seu fechamento;
- Monitoramento das águas após o término das operações;
- Atividades de manutenção da área;
- Provisão dos recursos financeiros necessários para a execução das tarefas previstas neste plano.

A norma ainda define um tempo máximo de seis meses para a realização das obras necessárias para o total encerramento do aterro. O período de seis meses começa a valer a partir do recebimento da última carga de resíduos.

SELUR (2017) define três etapas fundamentais (obras de cobertura) para um adequado encerramento de células de aterro, conforme atingem seu limite de preenchimento. São elas: impermeabilização, drenagem e revestimento vegetal.

Para estimar com confiança a quantidade de solo argiloso, solo orgânico e grama gastos para a cobertura total do aterro de Montes Claros (capacidade de 357,45 t/dia) foi feita uma interpolação com base nos custos de um aterro de pequeno porte (capacidade de 300 t/dia) e também de um aterro de médio porte (capacidade de 800 t/dia), seguindo as indicações de SELUR (2017). Na Tabela 56 tem-se os dados de referência usados na interpolação para se obter a quantidade de solo argiloso pode ser calculado da seguinte forma:

Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 56 – Interpolação do volume de solo argiloso para cobertura do aterro.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Volume de solo argiloso (m ³)	60750	x	115320

$$\frac{x - 60750}{115320 - 60750} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$
$$\frac{x - 60750}{115320 - 60750} = \frac{57,45}{500}$$



$$\frac{x - 60750}{115320 - 60750} = 0,1149$$
$$x - 60750 = 0,1149 * (115320 - 60750)$$
$$x = [0,1149 * (115320 - 60750)] + 60750 = 67.020,09 m^3$$

Na Tabela 57 tem-se os dados de referência usados na interpolação para se obter a quantidade de solo orgânico. Dessa forma tem-se:

Tabela 57 – Interpolação do volume de solo orgânico para cobertura do aterro.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Volume de solo orgânico (m ³)	10125	x	19220

$$\frac{x - 10125}{19220 - 10125} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$
$$\frac{x - 10125}{19220 - 10125} = \frac{57,45}{500}$$
$$\frac{x - 10125}{19220 - 10125} = 0,1149$$
$$x - 10125 = 0,1149 * (19220 - 10125)$$
$$x = [0,1149 * (19220 - 10125)] + 10125 = 11.170,02 m^3$$

Na Tabela 58 tem-se os dados de referência usados na interpolação para se obter a quantidade de grama usada na cobertura do aterro. Para o cálculo da interpolação têm-se:

Tabela 58 – Interpolação do volume de solo orgânico para cobertura do aterro.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Médio
Capacidade de recebimento (t/dia)	300	357,45	800
Volume de solo orgânico (m ³)	10125	x	19220

$$\frac{x - 101250}{192200 - 101250} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$
$$\frac{x - 101250}{192200 - 101250} = \frac{57,45}{500}$$



$$\frac{x - 101250}{192200 - 101250} = 0,1149$$

$$x - 101250 = 0,1149 * (192200 - 101250)$$

$$x = [0,1149 * (192200 - 101250)] + 101250 = 111.700,16 m^2$$

Os custos relativos ao fechamento do aterro estão dispostos na Planilha 5. A quantidade disposta nesta planilha foi baseada no trabalho de SELUR (2017) para um aterro de médio porte, tanto para os valores de custo quanto com relação as quantidades determinadas. Foi calculado o custo total de cada item e em seguida foi realizada a soma do custo total de todos os itens para se ter o custo total da cobertura operacional dos resíduos. Assim têm-se:

$$\text{Custo total do item} = \text{Custo unitário} * IGPM_{AC} * \text{quantidade} =$$

Planilha 5 - Estimativa de custos para encerramento do aterro sanitário.

ESTIMATIVA DE CUSTOS - ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO				
DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO SINAPI (2020) (R\$)	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL
ENCERRAMENTO				
Cobertura definitiva				
Solo argiloso (argila para aterro)	m ³	24,92	67.020,09	1.670.140,64
Terra vegetal	m ³	85,71	11.170,02	957.382,41
Plantio de grama esmeralda	m ²	12,64	111.700,16	1.411.890,02
TOTAL ENCERRAMENTO				4.039.413,08

Fonte: EMPIA, 2020.

6. PÓS-ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO

A NBR 13896/1997 cita algumas atividades necessárias após o encerramento do aterro:

- Monitoramento das águas subterrâneas, por um período de 20 anos após o fechamento da instalação, podendo reduzir este período se constatado o fim da geração de líquido percolado, ou estender o período caso acredite ser



insuficiente;

- Manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento de líquido percolado até o término da sua geração;
- Manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão;
- Manutenção do sistema de tratamento de líquido percolado, se existente, até o término da geração desse líquido ou até que esse líquido (influyente no sistema) atenda aos padrões legais de emissão;
- Manutenção do sistema de coleta de gases (se existente) até que seja comprovado o término de sua geração;
- Pode ser exigido do responsável pela área a manutenção do isolamento do local, caso exista risco de acidente para pessoas ou animais com acesso a ela.

Segundo ReCESA (2008),

“O sistema de monitoramento tem a função de permitir a detecção, em estágio inicial, dos impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento, permitindo a implementação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções e, dessa forma, torne-se mais difícil sua correção”.

O monitoramento do aterro sanitário envolverá aspectos geotécnicos e ambientais. Quanto aos aspectos geotécnicos têm-se o controle de deslocamentos horizontais e verticais, o controle do nível de percolado e pressão de biogás no corpo do aterro, o controle da descarga de percolado através dos drenos, as inspeções periódicas, buscando-se indícios de erosão, trincas, entre outros. Quanto aos aspectos ambientais consiste no controle da qualidade das águas subterrâneas, controle da qualidade das águas superficiais, controle da qualidade do ar, controle da poluição do solo, controle de insetos e vetores de doenças, controle de ruído e vibração, controle de poeira e material esvoaçante e controle de impactos visuais negativos. Esse monitoramento deve ser efetuado com a instalação de poços, piezômetros, medidores de deslocamentos horizontais e verticais, medidores de vazão, análises físico-químicas e biológicas e inspeções diversas.

Deve-se haver o acompanhamento dos líquidos percolados, através do monitoramento de águas superficiais e subterrâneas, analisando as alterações



causados pela presença de aterro próximo. No monitoramento, é de suma importância analisar amostras a montante e a jusante da obra, para que sejam comparadas.

Assim, todas as instalações que tratem e dispõem resíduos não perigosos, como os aterros sanitários, devem possuir sistema de monitoramento de águas subterrâneas.

Um aterro deve ser construído e operado de forma a manter a qualidade das águas subterrâneas. Tendo em vista o seu uso para o abastecimento público, a qualidade das águas subterrâneas, na área da instalação, deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos no Anexo da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde.

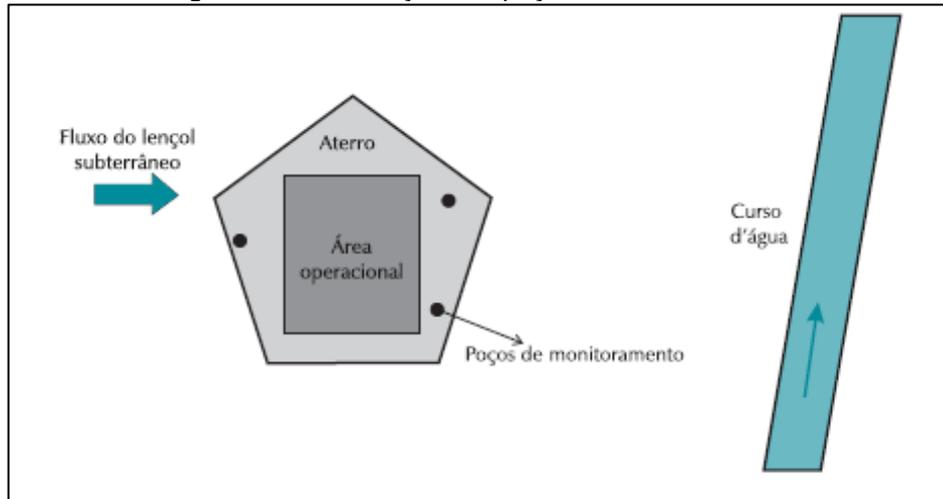
A ABNT (1997), afirma que:

Os poços de monitoramento devem ser em número suficiente, instalados adequadamente, de forma que as amostras retiradas representem a qualidade da água existente no aquífero mais alto, na área do aterro. O sistema de poços de monitoramento deve ser constituído de no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático, e os poços devem ter diâmetro mínimo de 101,6 mm (4 pol.) e ser revestidos e tampados na parte superior para evitar contaminação das amostras.

Ainda segundo ABNT (1997), deve ser estabelecido um programa de monitoramento, indicando os parâmetros a serem analisados, os procedimentos para coleta, preservação e análise das amostras, prever uma análise de todos os parâmetros a serem monitorados, pelo menos quatro vezes ao ano, em cada poço, durante o período de vida ativa da instalação, registrar o nível do lençol freático a cada coleta realizada e determinar a velocidade e a direção do escoamento do lençol freático.

A Figura 11 apresenta como os poços de monitoramento da qualidade da água devem estar localizados na área do aterro. A instalação deve ser monitorada durante a sua vida útil, incluindo o tempo de pós-fechamento. A quantidade de poços de monitoramento foi baseada segundo SELUR (2017).

Figura 11 - Localização dos poços de monitoramento

Fonte: MONTEIRO *et al.*, 2001

Levando em consideração as informações citadas anteriormente e observando que o pós fechamento deve durar por 20 anos (240 meses) foi elaborada os custos do para o aterro sanitário de Montes Claros.

6.1. SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS

Considerou-se por ser necessário manter a vigilância, fazer levantamentos e relatórios técnicos e administrativos para o órgão ambiental com certa regularidade. Segundo SELUR (2017), os relatorios devem ser feitos semestralmente, então a quantidade será definida pela seguinte equação:

$$\text{Quantidade de relatórios} = \frac{\text{Período de operação do aterro (meses)}}{6 \text{ meses (semestre)}}$$

$$\text{Quantidade de relatórios} = \frac{240 \text{ meses}}{6 \text{ meses (semestre)}}$$

$$\text{Quantidade de relatórios} = 40 \text{ relatórios}$$

Portanto, o custo com os relatórios se dará por:

$$\text{Custos relatórios adm.} = \text{Custo unitário SELUR (2017)} * IGPM_{AC} * \text{quantidade}$$

$$\text{Custos relatórios adm.} = 18.148,65 * 1,186 * 40$$

$$\text{Custos relatórios adm.} = R\$ 860.971,96$$



Já para o cálculo dos custos do serviço de vigilância utilizou-se o valor calculado no item 4.12 deste produto, para o período de 240 meses. Portanto, para a elaboração da estimativa dos custos foi considerado que trabalharão dois colaboradores por turno numa jornada de 12 horasx36, totalizando 8 trabalhadores. Segundo o Ministério da Economia (2019) a despesa mensal do colaborar da área de vigilância para os cofres públicos é:

- Um vigilante em trabalho diurno 12x36 horas totaliza um custo mensal de R\$ 6739,98;

- Um vigilante em trabalho noturno, 12x36 horas, totaliza um custo mensal de R\$ 8094,01;

Assim, tem-se:

$Vigilância = (despesa\ vigilante\ diurno * quantidade) + (despesa\ vigilante\ noturno * quantidade)$

$Custo\ vigilantes = (6.739,98 * 4) + (8.094,01 * 4)$

$Custo\ vigilantes = (26.959,92) + (32.376,04) = 59.335,96$

O custo da vigilância foi calculado mensalmente para o total de 240 meses durante todo o período de operação do aterro sanitário. Para isso têm-se:

$Custo\ total\ do\ item = Custo\ unitário * quantidade$

$Custo\ total\ do\ item = 59.335,96 * 240 = R\$ 16.889.387,65$

Tabela 59 – Custos da coleta e queima do biogás.

DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	IGPM _{AC}	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL (R\$)
Relatórios	Unidade	18148,65	1,186	40	860.971,96
Vigilância	Vb.R\$/mês	59.335,96	1,186	240	14.240.630,40
Total					15.101.602.36

Fonte: EMPIA, 2020.

6.2. MANUTENÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL

A manutenção da área superficial se dá basicamente pela manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento de líquido percolado até o término da sua geração; manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão; manutenção do sistema de tratamento de líquido percolado, se existente, até o



término da geração desse líquido ou até que esse líquido (influyente no sistema) atenda aos padrões legais de emissão; e manutenção do sistema de coleta de gases (se existente) até que seja comprovado o término de sua geração.

Portanto, fez-se a interpolação como demonstrada a seguir para estimar o custo com a manutenção da área superficial:

Tabela 60 – Estimativa de custo para a manutenção da área superficial.

Porte do aterro	Pequeno	Montes Claros	Grande
Capacidade de recebimento (t)	300	357,45	800
Manutenção da área superf. (R\$)	1.547.544,00	x	1.783.026,00

Fonte: EMPIA, 2020.

$$\frac{x - 1.547.544,00}{1.783.026,00 - 1.547.544,00} = \frac{357,45 - 300}{800 - 300}$$

$$\frac{x - 1.547.544,00}{235.482,00} = \frac{57,45}{500}$$

$$\frac{x - 1.547.544,00}{235.482,00} = 0,1149$$

$$x - 1.547.544,00 = 0,1149 * 972.000$$

$$x = [0,1149 * (235.482,00)] + 1.547.544,00 = R\$ 1.574.600,88$$

Com isso, calcula-se o valor mensal para a manutenção da área superficial:

$$\text{Custo mensal da manutenção da área} = \frac{1.574.600,88}{240}$$

$$\text{Custo mensal da manutenção da área} = R\$ 6.560,84 * \text{IGPM atualizado}$$

$$\text{Custo mensal da manutenção da área} = R\$ 6.560,84 * 1,186 = R\$ 7.741,79$$

6.3. MONITORAMENTO AMBIENTAL

O monitoramento ambiental subsidia medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação do ambiente em estudo, bem como auxilia na definição das políticas ambientais. O monitoramento mais comum, objetivo, prático e obrigatório, a ser efetuado, é o da qualidade das águas subterrâneas e superficiais, tendo em vista grande carga poluidora do efluente líquido de aterros sanitários, o



lixiviado, onde dentre vários outros parâmetros, apresenta elevados valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio e nitrogênio amoniacal, além de metais, que são particularmente danosos à saúde humana. O monitoramento também visa avaliar a eficiência do sistema de proteção de fundo do aterro.

Outros monitoramentos como o monitoramento da qualidade do ar (odor e concentração de gases), monitoramento e análise de percolado e o monitoramento geotécnico (levantamento topográfico e relatórios), também são extremamente importantes para o monitoramento ambiental como um todo.

- Monitoramento e análises de águas subterrâneas

As análises de águas subterrâneas serão feitas a cada 2 meses:

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{\text{Período de operação do aterro (meses)}}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{240 \text{ meses}}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = 120 \text{ análises}$$

Segundo SELUR (2017), independente do porte do aterro, os custos com as análises de água subterrânea é de R\$ 2.000,00. Portanto, o custo com as análises se dará por:

$$\text{Custos das análises} = \text{Custo unitário SELUR (2017)} * IGPM_{AC} * \text{quantidade}$$

$$\text{Custos das análises} = 2.000,00 * 1,186 * 120$$

$$\text{Custos das análises} = \text{R\$ } 284.640,00$$

- Monitoramento e análises de águas superficiais

As análises de águas superficiais serão feitas a cada 2 meses:

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{\text{Período de operação do aterro (meses)}}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{240 \text{ meses}}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = 120 \text{ análises}$$



Segundo SELUR (2017), independente do porte do aterro, os custos com as análises de água superficial é de R\$ 2.000,00. Portanto, o custo com as análises se dará por:

$$\text{Custos das análises} = \text{Custo unitário SELUR (2017)} * IGPM_{AC} * \text{quantidade}$$

$$\text{Custos das análises} = 2.000,00 * 1,186 * 120$$

$$\text{Custos das análises} = \text{R\$ } 284.640,00$$

- Monitoramento e análise de percolado

As análises de percolado serão feitas a cada 6 meses:

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{\text{Período de operação do aterro (meses)}}{6 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = \frac{240 \text{ meses}}{6 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de análises} = 40 \text{ análises}$$

Segundo SELUR (2017), independente do porte do aterro, os custos com as análises de percolado é de R\$ 2.000,00. Portanto, o custo com as análises se dará por:

$$\text{Custos das análises} = \text{Custo unitário SELUR (2017)} * IGPM_{AC} * \text{quantidade}$$

$$\text{Custos das análises} = 2.000,00 * 1,186 * 40$$

$$\text{Custos das análises} = \text{R\$ } 94.880,00$$

- Monitoramento geotécnico

Os monitoramentos geotécnicos serão feitos a cada 6 meses:

$$\text{Quantidade de relatórios} = \frac{\text{Período de operação do aterro (meses)}}{6 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de relatórios} = \frac{240 \text{ meses}}{6 \text{ meses}}$$

$$\text{Quantidade de relatórios} = 40 \text{ relatórios}$$

Segundo SELUR (2017), independente do porte do aterro, os custos com os relatórios de monitoramento geotécnico é de R\$ 3.750,00. Portanto, o custo com os relatórios se dará por:



$Custos\ relatórios = Custo\ unitário\ SELUR\ (2017) * IGPM_{AC} * quantidade$

$$Custos\ relatórios = 3.750,00 * 1,186 * 40$$

$$Custos\ relatórios = R\$ 177.900,00$$

- Monitoramento da qualidade do ar

As análises de qualidade do ar serão feitas a cada 3 meses:

$$Quantidade\ de\ análises = \frac{Período\ de\ operação\ do\ aterro\ (meses)}{3\ meses}$$

$$Quantidade\ de\ análises = \frac{240\ meses}{3\ meses}$$

$$Quantidade\ de\ análises = 80\ relatórios$$

Segundo SELUR (2017), independente do porte do aterro, os custos com as análises de qualidade do ar é de R\$ 2.000,00. Portanto, o custo com as análises se dará por:

$Custos\ das\ análises = Custo\ unitário\ SELUR\ (2017) * IGPM_{AC} * quantidade$

$$Custos\ das\ análises = 2.000,00 * 1,186 * 80$$

$$Custos\ das\ análises = R\$ 189.760,00$$

A Planilha 6 detalha a estimativa de custos para o pós-encerramento do aterro sanitário. A quantidade disposta nesta planilha teve por embasamento os valores de custo e quantidade determinados por SELUR (2017) para um aterro de médio porte. Foi calculado o custo total de cada item e em seguida foi realizada a soma do custo total de todos os itens para se ter o custo total da etapa de pós-fechamento. Assim têm-se:

Planilha 6 - Estimativa de custos para o pós-encerramento do aterro sanitário.

ESTIMATIVA DE CUSTOS - PÓS-ENCERRAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO					
DESCRIÇÃO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	IGPM _{AC}	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL (R\$)
PÓS-ENCERRAMENTO					



COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Custos administrativos					15.101.602,36
Relatórios	unidade	18148,65	1,186	40	860.971,96
Vigilância	ano	59335,96		240	14.240.630,40
Manutenção da área superficial					1.867.476,64
Manutenção geral	mês	39365,02	1,186	240	1.867.476,64
Monitoramento ambiental					1.031.820,00
Monitoramento e análise de águas subterrâneas	Análise	2000,00	1,186	120,00	284.640,00
Monitoramento e análise de águas superficiais	Análise	2000,00	1,186	120,00	284.640,00
Monitoramento e análise de percolado	Análise	2000,00	1,186	40,00	94.880,00
Monitoramento geotécnico	Relatório	3750,00	1,186	40,00	177.900,00
Monitoramento de qualidade do ar e emissões gasosas	Análise	2000,00	1,186	80,00	189.760,00
TOTAL PÓS-ENCERRAMENTO					18.000.899,00

Fonte: EMPIA, 2020.

7. CONCLUSÃO

A Tabela 61 apresenta um resumo dos custos de cada etapa do ciclo de vida do aterro sanitário de Montes Claros-MG, estimado e detalhado neste documento e na planilha anexa.

Tabela 61 – Resumo geral dos custos do aterro sanitário.

Resumo dos custos (R\$)		Lixo disposto no aterro em 20 anos
Pré-implantação	2.507.046,16	2.307.959,075
Implantação	35.376.611,95	
Operação	187.580.548,29	R\$/ton 107,24
Encerramento	4.039.413,08	
Pós-encerramento	18.000.899,00	
TOTAL	247.504.518,48	

Fonte: EMPIA, 2020.

No trabalho realizado por SELUR (2017), a estimativa do preço por tonelada de um aterro sanitário com capacidade de recebimento de 300 ton/dia é de 156,83, enquanto que para um aterro que recebe 800 ton/dia é de R\$ 112,60 para o ano de



2017 o que atualmente representaria cerca de R\$ 133,55. Cabe resaltar que a quantidade de toneladas por dia que um aterro recebe é inversamente proporcional ao valor cobrado por cada tonelada, ou seja, quanto maior o porte de um aterro, menor é o preço por tonelada do mesmo.

O município de Montes Claros paga, hoje, ano 2020, segundo contrato P421/18, o valor de R\$87,25/ton, à empresa terceirizada responsável pela disposição final dos RSU, já esta estimativa de custo encontrou-se o valor de R\$ 107,24. A diferença encontrada nesta estimativa de custos pode ser justificada pela capacidade do aterro da Via Solo que atualmente atende 7 municípios. Assim por ter um porte maior pode-se considerar que apresentará um menor preço por tonelada. Além disso pode-se levar em conta que os custos e todas as despesas referentes ao aterro sanitário também sejam divididas entre os sete municípios, fato que também pode contribuir na redução do preço por tonelada. Assim o valor de R\$ 107,27/ton contempla apenas a cidade de Montes Claros, inclusive, desde a aquisição do terreno.

O presente estudo do aterro, foi pensado de forma genérica e o custo real do empreendimento depende do custo com a elaboração do projeto executivo, assim como as premissas técnicas e tecnologias escolhidas pelos profissionais na elaboração deste. Além de aspectos que envolvem a área escolhida, visto que, esta influenciará nos vários custos interligados, como o valor da sua aquisição, da limpeza da área (retirada de troncos de árvores, por exemplo), nivelamento topográfico da área, deslocamento dos caminhões de coleta de resíduo, entre outras despesas que acarretam diretamente no custo operacional. Portanto, por ser um projeto financeiro que servirá de base para as futuras licitações, a estimativa do custo por tonelada está de acordo com a principal referência utilizada para a elaboração deste. Assim pode-se deduzir que a estimativa do valor por tonelada de R\$ 107,24 calculada neste Produto 3 é um valor coerente.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETRE. Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. **Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários**. Relatório Final. Fundação Getúlio Vargas, FGV Projetos, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.895: Construção de poços de monitoramento e amostragem**. Rio de Janeiro, 1997, 21 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997, 12 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419: Apresentação de projetos sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992, 7 p.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil**, 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em: 15 abr 2020.

AGROPLANT. **Viveiro e floricultura, comércio de mudas e paisagismo**. Belo Horizonte, 2020.

ALVES, R. L. **Execução do Projeto de Drenagem Sub-Superficial de Biogás, Percolados e Drenagem de Águas Pluviais em Aterro Sanitários**. Campinas, 2010. Disponível em: < <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2010/I-009.pdf>>. Acesso em: 03 fev 2020.



ANA. **Avaliação da qualidade da água.** Disponível em <<http://portalpnqa.ana.gov.br/avaliacao.aspx>>. Acesso em 08 de ago. de 2020.

ARPB - AGÊNCIA DE REGULAÇÃO DO ESTADO DE PARAÍBA. **Estudo de Impacto Ambiental do Aterro Sanitário de Guarariba - PB.** 2018. Disponível em: <<http://sudema.pb.gov.br/eia-rima>>. Acesso em: 07 de agosto. 2020.

ARSAE. **Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <<http://www.arsae.mg.gov.br/politica-de-privacidade/page/262-tarifas-copasa>>. Acesso em: 05 jul 2020.

APLENGENHARIA. **Proposta Comercial Nº 13721 - orçamento sondagens Montes Claros. [online].** Disponível na Internet via correio eletrônico: empiaengenharia@gmail.com. Mensagem: **orçamento sondagens Montes Claros.** Data: 28 de ago. 2020.

BIODISELBR. **Biogás.** Disponível em <[https://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas-aterrossanitarios#:~:text=O%20biog%C3%A1s%20gerado%20nos%20aterros,e%20g%C3%A1s%20sulf%C3%ADrico%20\(H2S\).&text=A%20queima%20do%20biog%C3%A1s%20transforma,e%20vapor%20d%C2%B4%C3%A1gua.](https://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas-aterrossanitarios#:~:text=O%20biog%C3%A1s%20gerado%20nos%20aterros,e%20g%C3%A1s%20sulf%C3%ADrico%20(H2S).&text=A%20queima%20do%20biog%C3%A1s%20transforma,e%20vapor%20d%C2%B4%C3%A1gua.)>. Acesso em 08 de ago. de 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA 430**, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> . Acesso em: 23 jan. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986 1. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001>



.pdf> . Acesso em: 01 jun. 2020.

CEMING, Companhia Energética de Minas Gerais – **Valores e Tarifas de Serviço**. Disponível em <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em 14 de julho de 2020.

CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado** / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316 p.

CGC CONCESSÕES. Companhia de Urbanização de Goiânia. **Procedimento Licitatório COMURG nº 001/2020**, 2020. Disponível em: <https://www10.goiania.go.gov.br/DadosINTER/PUBLIC/PROCEDIMENTOLICITAT%C3%93RIOCOMURG-COMURG/2020/arq_682331.pdf>. Acesso em: 15 abr 2020.

CLIMATEMPO. **Climatologia de Montes Claros**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/164/montesclaros-mg>>. Acesso em: 27 de jul. 2020

COHAB. Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais. **Licitação Eletrônica de COHAB MINAS Nº 019/2020**. 2020. Disponível em: <http://www.cohab.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/EDITAL-019-NOR.NORO_-FINAL.pdf>. Acesso em: 26 de agosto. 2020

CUIABA. **Novo Aterro Sanitário De Cuiabá Relatório De Impacto Ambiental – RIMA**. Disponível em: <<https://www.cuiaba.mt.gov.br/download.php?id=34788>>. Acesso em: 03 de jun. 2020.

DIPROTEC. **Colchão drenante**. Disponível em <<https://www.diprotec.com.br/solucao/colchao-drenante/#:~:text=O%20colch%C3%A3o%20drenante%2C%20resume%2Dse,de%2>



O infiltração de águas pluviais. Acesso em 08 de ago. de 2020.

ELK, A. G. H. P. V. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos. **Redução de Emissões na Disposição Final**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf>. Acesso em: 10 abr 2020.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; NETO, S. N. O.; PAULA, T. R.; COUTINHO, R. P.; SILVA, R. L. Crescimento e Produção de Eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul - RJ. **Floresta e Ambiente**. 2017; p. 24. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e00131315.pdf>>. Acesso em: 03 de julho. 2020.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Manual de Licenciamento ambiental : guia de procedimentos passo a passo**. Rio de Janeiro: GMA, 2004. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf>. Acesso em 17 abr. 2020.

FLORA LONDRINA. Flora Londrina Viveiro florestal. **Mudas de Eucalipto-urograndis**, 2020. Disponível em: <https://www.floralondrina.com.br/mudas-de-eucalipto-urograndis-eucalyptus-urograndis/?gclid=EAlaIQobChMI1Kbb5OX16AIVBAmRCh0eWQwGEAQYASABEgLkY_D_BwE>. Acesso em: 2020 abr 12.

GALLI; PAULA DIAS. Sistema de captação de chorume em aterro sanitário. 2018. Número total de folhas. **Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil** – Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, 2018. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/02/PAULA-DIAS->



GALLI.pdf>. Acesso em: 03 de julho. 2020.

JÚNIOR, V. C. **Procedimentos Mínimos para operação de aterros sanitários de médio porte: estudo de caso do aterro sanitário de Jales**. Ilha Solteira, 2011.

Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98067/cecchinijunior_v_me_ilha.pdf?sequence=1>. Acesso em: 31 jan 2020

LAGOA SANTA. **Planilha Orçamentária: Anexo I – Planilha de Quantitativos e Preços Unitários - Ata de Registro de Preços para a Prestação de Serviços de Elaboração de Projetos Executivos de Arquitetura, Urbanismo e Engenharia para diversos programas da Prefeitura de Lagoa Santa – MG**. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Prefeitura Municipal de Lagoa Santa-MG, 2016.

Disponível em: <<https://www.lagoasanta.mg.gov.br/attachments/article/5410/PLANILHA%20OR%C3%87AMENT%C3%81RIA.pdf>>. Acesso em: 20 abr 2020.

MBGEOLOGIA. **Poços de monitoramento ambiental**. Disponível em <<https://mbgeologia.com.br/novidades/detalhe/10/voc-sabe-o-que-sao-pocos-de-monitoramento-ambiental>>. Acesso em 08 de ago. de 2020.

MEINERZ, C. C., KLEINB, J. C., DIMBARRE, S., MONDARDOD, D., BELLONE, P. P., SANTOS F, L. B., SCHERER, F. Estudo de Caso para Recuperação Paisagística do Aterro Sanitário de Toledo–PR. **In: International Workshop Advances in Cleaner production**. São Paulo, Brazil. 2009.

MINAS GERAIS. **Tabela de emolumentos 2019**. Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <<https://www.tjmg.jus.br/portal-tjmg/processos/custas-emolumentos/tabela-de-emolumentos-2019.htm>>. Acesso em: 10 de julho de 2020.



MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Estudo sobre a Composição dos Custos dos Valores Limites Serviços de Vigilância. Disponível em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/images/conteudo/ArquivosCGNOR/Cadernostecnicos/Cadernos2019/CT_VIG_RJ_2019.pdf>. Acesso em: 28 de jul.. 2020.

MONTEIRO, J. H. P., FIGUEREDO, C. E. M., MAGALHÃES, A. F., MELO, M. A. F., BRITO, J. C. X., ALMEIDA, T. P. F. e MANSUR, G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos, IBAM**, Rio de Janeiro, p. 200, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 26 jan 2020.

MONTES CLAROS, 2017. **Lei Complementar Nº 63/2017**, altera o Código Tributário Municipal, regido pela Lei Complementar nº 04, de 07 de dezembro de 2004, atualizada até a Lei Complementar nº 33/2010. Disponível em: http://www.fiscosoft.com.br/objetos/LC_63_MUN_MONTES_CLAROS_MG_2018_anexo.pdf. Acesso em: 29 jun. 2020.

MUNDO CLIMA. **Estação Meteorológica Davis Vantage Pro2 6162**. Disponível em: < <http://www.mundoclima.com.br/produtos/estacao-meteorologica-davis-vantage-pro2-6162/>>. Acesso em: 26 de agosto. 2020.

OLIVEIRA, C. N. **Recuperação ambiental de aterros sanitários na região metropolitana de Campinas: revegetação e uso futuro**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Departamento de Saneamento e Ambiente. Campinas, 2004.

ReCESA. **Resíduos sólidos : projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento : nível 2** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 2008. 120 p.

SELUR – Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo.



Aspectos Técnicos/Econômico-Financeiros da Implantação, Manutenção, Operação e Encerramento de Aterros Sanitários. Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. São Paulo, 2017.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Taxas de licenciamento: custos tabelados para processos de regularização ambiental.** 2020. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/regularizacao-ambiental/custos-de-analise>>. Acesso em: 26 de agosto. 2020.

SENAR. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural.** Distrito Federal. 2020. Disponível em: <http://ead.senar.org.br/wp-content/uploads/capacitacoes_conteudos/bioma_cerrado/CURSO_2/AULA_7_INVESTIMENTO_DE_VIVEIRO_DE_MUDAS_NATIVAS.pdf>. Acesso em: 10 de julho de 2020.

SGTOPOGRAFIA. A Importância do levantamento planialtimétrico para a Construção Civil e a Arquitetura. Disponível em < <https://sgtopografia.com.br/levantamento-planialtimetrico.php>>. Acesso em 08 de ago. de 2020.

SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil. **Referências de Preços e Custos em Minas Gerais.** Caixa Econômica Federal e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648. Acesso em: 18 mai. 2020.

SUDEMA. Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Destinação final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos dos municípios integrantes do CONSIPRES-PB. Estudo de Impacto Ambiental para o Aterro Municipal de Guarariba-PB.** 2018. Disponível em: < <http://sudema.pb.gov.br/eia-rima>>. Acesso em: 26 de agosto. 2020.



SUPORTE. Diferenças entre os tipos de sondagens. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/sondagens-qual-a-diferenca-entre-os-tipos-de-sondagens/8/>>. Acesso em 08 de ago. de 2020.

VIVO, Operado de Telefonia Fixa – Pano Mensal – Montes Claros. Disponível em <https://planosvivointernet.com.br/vivo-fibra?utm_source=GO_GOIANIA_Marca&utm_medium=Vivo_Fixo_Telefone&utm_campaign=Marca_Google&gclid=CjwKCAjwr7X4BRA4EiwAUXjbt19vJD6z8k2j_GrfA_XDhgFdbfMfaGzLwaX2T3RY1fTGvppvFc00whoCvPIQAvD_BwE>. Acesso em 14 de julho de 2020.



ANEXO I – Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986

RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986

**Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas
2548-2549**

Correlações:

- Alterada pela Resolução nº 11/86 (alterado o art. 2º)
- Alterada pela Resolução nº 5/87 (acrescentado o inciso XVIII)
- Alterada pela Resolução nº 237/97 (revogados os art. 3º e 7º)

*Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de
impacto ambiental*

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, ¹⁵⁶para efetivo exercício das responsabilidades que lhe são atribuídas pelo artigo 18 do mesmo decreto, e

Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, resolve:

-Art. 1º Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indireta- mente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

-Art. 2º Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo rela- tório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA¹⁵⁷ em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:



- I - Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento; II - Ferrovias;
- III - Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
- IV - Aeroportos, conforme definidos pelo inciso 1, artigo 48, do Decreto-Lei nº 32, de 18 de setembro de 1966¹⁵⁶;
- V - Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;
- VI - Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230KV;
- VII - Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem¹⁵⁹ para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;
- VIII - Extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão);
- IX - Extração de minério, inclusive os da classe II, definidas no Código de Mineração;
- X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;

¹⁵⁶ Decreto revogado pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990.

¹⁵⁷ A Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA, vinculada ao Ministério do Interior, foi extinta pela Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, que criou o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. As atribuições em matéria ambiental são atualmente do Ministério do Meio Ambiente.

¹⁵⁸ Decreto-Lei revogado pela Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. ¹⁵⁹ Retificado no Boletim de Serviço do MIN, de 7 de março de 1986

XI - Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW;

XII - Complexo e unidades industriais e agro-industriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos hidróbios?)¹⁶⁰;

XIII - Distritos industriais e zonas estritamente industriais - ZEI;

XIV - Exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental;

XV - Projetos urbanísticos, acima de 100 ha ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental a critério da SEMA e dos órgãos municipais e estaduais competentes estaduais ou municipais¹;

XVI - ~~Qualquer atividade que utilizar carvão vegetal, em quantidade superior a dez toneladas por dia.~~

XVI - Qualquer atividade que utilizar carvão vegetal, derivados ou produtos similares, em quantidade superior a dez toneladas por dia. (*nova redação dada pela Resolução nº 11/86*)

XVII - Projetos Agropecuários que contemplem áreas acima de 1.000 ha. ou menores, neste caso, quando se tratar de áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental, inclusive nas áreas de proteção ambiental. (*inciso acrescentado pela Resolução nº 11/86*)

XVIII - Empreendimentos potencialmente lesivos ao patrimônio espeleológico nacional. (*inciso acrescentado pela Resolução nº 5/87*)

~~Art. 3º Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo RIMA, a serem submetidos à aprovação da SEMA, o licenciamento de atividades que, por lei, seja de competência federal. (*Revogado pela Resolução nº 237/97*)~~

Art. 4º Os órgãos ambientais competentes e os órgãos setoriais do



SISNAMA deverão compatibilizar os processos de licenciamento com as etapas de planejamento e implantação das atividades modificadoras do meio ambiente, respeitados os critérios e diretrizes estabelecidos por esta Resolução e tendo por base a natureza o porte e as peculiaridades de cada atividade.

Art. 5º O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:

I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;

II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;

III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;

IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Parágrafo único. Ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental o órgão estadual competente, ou a SEMA ou, no que couber ao Município ¹⁶¹, fixará as diretrizes adicionais que, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área, forem julgadas necessárias, inclusive os prazos para conclusão e análise dos estudos.

Art. 6º O estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

¹⁶⁰ Retificado no Boletim de Serviço do MIN, de 7 de março de 1986

¹⁶¹ Retificado no Boletim de Serviço do MIN, de 7 de março de 1986