

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIOMAR LOPES DOS SANTOS**

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO  
PARA AS CIDADES DE SILVÂNIA E VIANÓPOLIS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2019**

**DIOMAR LOPES DOS SANTOS**

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO  
PARA AS CIDADES DE SILVÂNIA E VIANÓPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: MSC EDUARDO DOURADO ARGOLO**

**ANÁPOLIS / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, DIOMAR LOPES DOS

Análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis.

83P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. Resíduos sólidos     | 2. Levantamento de dados     |
| 3. Cálculos             | 4. Dimensionamento do aterro |
| 5. Considerações finais |                              |

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Santos, Diomar Lopes. Análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 83p. 2019.

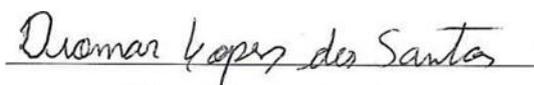
### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Diomar Lopes dos Santos.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Diomar Lopes dos Santos

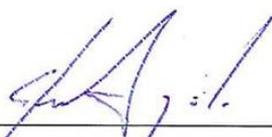
diomarlsdb@hotmail.com

**DIOMAR LOPES DOS SANTOS**

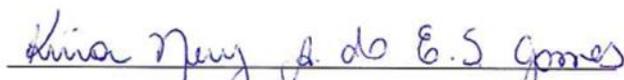
**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO  
PARA AS CIDADES DE SILVÂNIA E VIANÓPOLIS.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**



**KIRIA NERY ALVES DO ESPIRITO SANTO GOMES, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**ANÁPOLIS/GO, 04 de dezembro de 2019.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que me dado saúde e força para vencer as lutas diárias. Aos meus pais e meu irmão e toda minha grande família por terem acreditado em mim e me apoiado sempre que precisei, me ajudando na realização dos meus sonhos. E a todos o corpo docente do curso de engenharia civil, ao meu orientador professor Eduardo Dourado Argolo que me ajudou muito na realização deste trabalho, bem como os colegas de sala, que sempre me ajudaram a empenhar cada dia mais.

## RESUMO

Nos últimos anos, com a ascensão da sustentabilidade, e com a necessidade de preservar os recursos naturais para as gerações futuras, se tornou imprescindível a correta destinação dos resíduos sólidos gerados pelo ser humano. Nesse contexto o aterro sanitário tem se mostrado um excelente método para destinar esses resíduos de forma menos danosa ao meio ambiente.

Esse método utiliza técnicas para conter os possíveis contaminante presentes no lixo ou mesmo os que venham a ter com a decomposição desse lixo, de forma que não contaminem o solo onde são depositados e nem mesmo os lençóis freáticos abaixo ou próximo da sua deposição. São construídos sistemas que drenam os materiais poluentes tanto os líquidos como os gasosos. Diminuindo consideravelmente a degradação ambiental e também social, gerado pelas formas indevidas de deposição de resíduos. Dessa forma o presente trabalho tem como objetivo geral a elaboração de um projeto fictício de aterro sanitário de pequeno porte para a disposição dos resíduos sólidos das cidades de Silvânia e Vianópolis, estado de Goiás. Para tal será feito um levantamento de dados de ambas cidades, e orientado pelas principais normas referentes ao tema, serão realizados os cálculos necessários, e apresentados os resultados obtidos.

palavras-chaves: Resíduos sólidos urbanos, Sustentabilidade, Aterro sanitário, Lixo, Técnicas, Métodos, Lençol freático, Sistema de drenagem.

## **ABSTRACT**

In recent years, with the rise of sustainability, and the need to preserve natural resources for future generations, the proper disposal of solid waste generated by humans has become essential. In this context, the landfill has been an excellent method to dispose of these wastes in a less harmful way to the environment.

This method uses techniques to contain the potential contaminants present in the waste or even those that may result from the decomposition of this waste, so that they do not contaminate the soil where they are deposited and not even the groundwater below or near its disposal. Systems are built that drain both polluting liquids and gaseous materials. Significantly reducing environmental and social degradation caused by improper forms of waste disposal. Thus, the present work has as its general objective the elaboration of a fictitious project of small sanitary landfill for the solid waste disposal of the cities of Silvânia and Vianópolis, Goiás State. and guided by the main rules related to the subject, the necessary calculations will be performed, and the results obtained will be presented.

keywords: Municipal solid waste, Sustainability, Landfill, Waste, Techniques, Methods, Groundwater, Drainage system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.....	25
Figura 2 – Faixa de parâmetros de resistência do RSU recomendados para projeto.....	28
Figura 3 – Esquema da composição do RSU .....	29
Figura 4 – Lixão .....	32
Figura 5 – Esquema do processo de incineração de lixo.....	34
Figura 6 – Esquema de uma aterro sanitário .....	35
Figura 7 – Início de utilização de aterro sanitário de pequeno porte.....	37
Figura 8 – Configuração de uma camada de proteção de fundo .....	40
Figura 9 – Execução de drenos.....	41
Figura 10 – Dreno de gás aterro sanitário de Jaboticabal - SP.....	43
Figura 11 – Cobertura diária de terra.....	45
Figura 12 - Sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno .....	46
Figura 13 - Aterro sanitário após seu fechamento.....	47
Figura 14 – Localização do aterro no mapa .....	48
Figura 15 – Características da área.....	50
Figura 16 – níveis de cota do terreno .....	50
Figura 17 – Características do solo.....	51
Figura 18 - Escavação no terreno vizinho .....	52
Figura 19 – Trator de esteira operando em um aterro .....	57

Figura 20 – Vista superior da área com aterro implantado. ....	58
Figura 21 – Faixa de parâmetros de resistência do RSU recomendados para projeto.....	59
Figura 22 – Exemplo de ancoragem da manta .....	61
Figura 23 – Modelo de drenos de lixiviados .....	64
Figura 24 - Drenos dos gases.....	66
Figura 25- Queimador biogás .....	67
Figura 26 – Dreno pluvial de colchão reno .....	73
Figura 27 – Seção da valeta.....	73
Figura 28 – Trincheira fechada com sistemas de drenagem.....	74

## **LISTA DE QUADRO**

Quadro 1 – Coeficientes de permeabilidade dos RSU .....	27
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de RSU per capita.....	22
Tabela 2 – Quantidade de municípios por tipo de destinação final adotada em 2016 .....	23
Tabela 3– Peso específico de RSU em diferentes condições .....	26
Tabela 4 – Coeficientes de permeabilidade dos solos .....	27
Tabela 5 – Composição típica do biogás .....	31
Tabela 6– Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo .....	40
Tabela 7– Instruções para a consideração do sistema de drenagem dos gases .....	44
Tabela 8 – Projeção do volume de RSU a serem dispostos no aterro .....	54
Tabela 9 – Comparação entre recomendações da norma NBR 15849 da ABNT (2010) e as condições do presente projeto.....	60
Tabela 10 – Volume dos Resíduos Sólidos .....	62

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Disposição final de RSU no Brasil (t/dia) .....	22
Gráfico 2 – Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano) .....	23
Gráfico 3 – Disposição final de RSU na região Centro-Oeste (t/dia) .....	24
Gráfico 4 – Composição gravimétrica dos RSU .....	53

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

RSU	Resíduos sólidos urbanos
NBR	Norma brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNEM	Conselho Nacional de Energia Nuclear
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
PIB	Produto interno bruto
O <sub>2</sub>	Oxigênio
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
H <sub>2</sub> O	Água
PH	Potencial Hidrogeniônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CH <sub>4</sub>	Metano
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SPT	Standard Penetration Test
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LA	Licença Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PEAD	Polietileno de Alta Densidade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 <b>Objetivo geral</b> .....	18
1.2.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	18
1.3 METODOLOGIA.....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
2.1.1 <b>Definição</b> .....	19
2.1.2 <b>Classificação</b> .....	19
2.1.2.1 Resíduos industriais.....	19
2.1.2.2 Resíduos sólidos urbanos (RSU) .....	20
2.1.2.3 Entulhos .....	20
2.1.2.4 Resíduos de serviços de saúde.....	20
2.1.2.5 Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários.....	21
2.1.2.6 Resíduos agrícolas .....	21
2.1.2.7 Resíduos radioativos.....	21
2.1.3 <b>A situação atual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil</b> .....	21
2.1.4 <b>Características dos RSUs</b> .....	24
2.1.4.1 Composição gravimétrica .....	24
2.1.4.2 Peso específico .....	26
2.1.4.3 Permeabilidade .....	26
2.2.4.4 Resistência ao cisalhamento .....	28
2.1.4.5 Deformabilidade .....	29

2.1.4.6 Biodegradação .....	30
2.1.4.7 Efluente líquidos.....	30
2.1.4.8 Efluentes gasosos.....	31
<b>2.1.5 Formas de disposição de RSU.....</b>	<b>32</b>
2.1.5.1 Vazadores a céu aberto ou “lixão” .....	32
2.1.5.2 Aterros controlados .....	33
2.1.5.3 Aterro sanitário .....	33
2.1.5.4 Compostagem .....	33
2.1.5.5 Incineradores .....	34
<b>2.2 ATERRO SANITÁRIO.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.1 Aterro sanitário de pequeno porte.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.2 Etapas de projeto.....</b>	<b>37</b>
2.2.2.1 Escolha de área para aterro sanitário .....	37
2.2.2.2 Topografia do terreno .....	38
2.2.2.3 Conhecimentos geotécnicos .....	38
2.2.2.3.1 <i>Sondagem SPT</i> .....	38
2.2.2.3.2 <i>Permeabilidade do solo</i> .....	38
2.2.2.4 Dados climatológicos .....	38
2.2.2.5 Quantificação da geração de RSU .....	39
2.2.2.6 Sistemas de proteção .....	39
2.2.2.7 Sistema de drenagem de lixiviado.....	41
2.2.2.8 Estimativa da quantidade de lixiviado.....	42
2.2.2.9 Sistema de drenagem de gases.....	42
2.2.2.10 Camada de cobertura .....	44
2.2.2.11 Sistema de águas pluvias .....	45
2.2.2.12 Monitoramento de aterro sanitário .....	46
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>48</b>

3.1 LOCALIZAÇÃO.....	48
3.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	48
3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA.....	49
<b>3.3.1 Caracterização geotécnica do solo.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.2 Dados climatológicos .....</b>	<b>52</b>
3.4 CARACTERÍSTICA DOS RSU DA REGIÃO .....	53
<b>3.4.1 Composição gravimétrica .....</b>	<b>53</b>
<b>3.4.2 Peso específico .....</b>	<b>53</b>
3.5 ESTIMATIVA DO VOLUME DE RSU.....	54
3.6 COMPONENTES DO ATERRO SANITÁRIO .....	55
3.7 OPERAÇÃO DO ATERRO.....	56
3.8 GEOMETRIA DO ATERRO.....	58
3.9 ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	59
3.10 ATERRO DE PEQUENO PORTE.....	59
<b>3.10.1 Revestimento do fundo.....</b>	<b>60</b>
<b>3.10.2 Sistemas de drenagem .....</b>	<b>61</b>
3.10.2.1 Drenagem de percolado .....	61
3.10.2.1.1 <i>Diâmetro da drenagem do lixiviado.....</i>	<i>62</i>
3.10.2.1.2 <i>Espaçamento entre os drenos .....</i>	<i>63</i>
3.10.2.2 Drenagem do biogás .....	65
<b>3.10.3 Sistemas de tratamento .....</b>	<b>66</b>
3.10.3.1 Tratamento do biogás .....	66
3.10.3.2 Tratamento do lixiviado .....	67
3.10.3.2.1 <i>Lagoa anaeróbica.....</i>	<i>67</i>
3.10.3.2.2 <i>Lagoa Facultativa .....</i>	<i>70</i>
3.10.3.3 Drenagem pluvial .....	72
<b>3.10.4 Monitoramento do aterro .....</b>	<b>74</b>

3.10.4.1 Monitoramento do percolado.....	74
3.10.4.2 Monitoramento das águas subterrâneas e superficiais.....	75
3.10.4.3 Manutenção .....	75
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>76</b>
ANEXO A - Modelo de poço de monitoramento de aterro sanitário.....	80
ANEXO B - Modelo de poço de passagem.....	81

## 1 INTRODUÇÃO

Com a industrialização que se sucedeu no Brasil e no mundo a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), comumente denominado de “lixo”, cresceu consideravelmente. E a forma de disposição desses RSUs em muitas cidades é simplesmente a céu aberto, conhecidos como “lixões”. Por ter alto poder contaminante proveniente da sua decomposição, é necessário que existam modos de disposição final dos RSU de forma menos danosa ao meio ambiente local, sendo que o modo mais difundidos no Brasil é o aterro sanitário.

Com o apelo necessário pela sustentabilidade nessas últimas décadas, e com a degradação dos mananciais de água consumível, e mais recentemente pela diminuição da quantidade de água disponível, tornou-se imprescindível a correta destinação dos (RSU), a fim de não causar danos aos mananciais de água, principalmente pelo líquido gerado pela decomposição do lixo (chorume). Essa decomposição ainda gera gases que poluem a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

No Brasil a disposição de resíduos sólidos é regido pela lei 12305/2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, que se aplica a todo o território nacional e a todas as pessoas civis e jurídicas, cabendo aos municípios a criação e gestão do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Dessa forma, é necessário que todas as cidades tenham uma destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos. Sendo que em um projeto de aterro sanitário, é necessário que sejam dimensionadas camadas de proteção de base e cobertura, sistemas de drenagem dos efluentes líquidos e gasosos e de captação das águas de chuva, entre outros.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha desse tema se deu pelo convívio diário com o problema de saneamento existente nas duas cidades em questão, já que os resíduos nas duas cidades são dispostos a céu aberto, esse tema sempre é abordado nos meios de comunicação de ambas cidades. Como cidadão natural de Silvânia pode ser observado esse problema, e em Vianópolis mais recentemente como morador desta cidade, também foi vivenciado esse problema.

A partir dessas experiências e pelo gosto com temas relacionados ao meio ambiente e a sustentabilidade, uma vez que a necessidade de meios para diminuir os impactos, principalmente ambientais, causados pela população se faz cada vez mais necessários, é que foi determinante para o desenvolvimento desse tema.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a elaboração de um projeto fictício de aterro sanitário de pequeno porte para a disposição dos resíduos sólidos das cidades de Silvânia e Vianópolis, estado de Goiás.

### 1.2.2 Objetivos específicos

O presente trabalho irá abordar as etapas de pesquisa, implantação e operação deste aterro. Portanto serão dimensionados: sistema de drenagem do “chorume”, sistema de drenagem de gases, as camadas de base e de cobertura, além de aspectos operacionais. Serão discutidos temas como: condições geotécnicas do solo, características gerais dos resíduos e da área, clima da região, estimativa de vida útil, entre outros. Seguida de posteriores resultados de estudo, bem como o dimensionamento do aterro sanitário.

## 1.3 METODOLOGIA

Posteriormente a uma revisão bibliográfica será feito os levantamentos dos dados necessários de ambas cidades, tais como: população, quantidades de resíduos produzidos diariamente, tipos de resíduos, entre outros. Em seguida será feito os cálculos requeridos, e apresentados os resultados obtidos. O desenvolvimento do trabalho será orientado pela Norma Brasileira (NBR) 15849 da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT, 2010), bem como pela lei 12305/2010 e outras normas específicas.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho será dividido em 2 partes. Primeiramente, será feita uma revisão bibliográfica abordando as características dos resíduos sólidos e diversos aspectos relevantes a um projeto de aterro sanitário. Posteriormente será abordado o estudo de caso, onde serão detalhadas as fases de levantamento dos dados e o dimensionamento dos requisitos do projeto de aterro sanitário. No fim serão apresentadas as considerações finais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

#### 2.1.1 Definição

Os conceitos de resíduo e lixo são bastante próximos, em algumas definições são entendidos como sinônimos. No dicionário Michaelis (2009), consta que resíduo é:

1 Aquilo que resta, que subsiste de coisa desaparecida. 2 Sobra de um produto. 3 Pó proveniente da combustão de certos materiais. 4 Substância que resta depois de uma operação ou manipulação industrial, podendo ser reaproveitada. 6 Resto de um produto que não deve ser utilizado. (MICHAELIS, 2009)

Já as definições de lixo são: “1 Resíduos provenientes de atividades domésticas, industriais, comerciais etc. que não prestam e são jogados fora; 2 Recipiente onde esses resíduos são colocados. 3 Qualquer coisa sem valor ou utilidade:” (AURÉLIO, 2005)

A norma brasileira NBR10004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como:

resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.(ABNT, 2004)

#### 2.1.2 Classificação

Os resíduos sólidos são classificados de diversas maneiras, quanto à origem, à umidade, à composição química e à periculosidade. Sendo que a mais convencional é a classificação quanto à origem.

##### 2.1.2.1 Resíduos industriais

São aqueles resíduos gerados em indústrias, sendo que a responsabilidade pelo manejo e destinação final desses resíduos é de responsabilidade da empresa geradora. Esses resíduos podem se subdivir em classes quanto à sua periculosidade. Rocca (1993) especifica que quando apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, por serem inflamáveis, corrosivos, tóxicos, reativos, e ou ter patogênicos nocivos; são classificados como resíduos perigosos

(classe I). Já os resíduos biodegradáveis ou combustíveis, são classificados como não-inertes (classe II). E os não combustíveis, e que não se encaixam nas anteriores são então classificados com inertes (classe III).

A classificação desses resíduos industriais é um pouco minuciosa, com vários testes e procedimentos, tanto que existem normas técnicas (ABNT) que os descrevem.

#### 2.1.2.2 Resíduos sólidos urbanos (RSU)

Nessa categoria estão os resíduos domiciliares, comerciais e os oriundos de limpeza pública urbana. São compostos por vários tipos de materiais como mostra figura 1. Os resíduos urbanos são de responsabilidades das prefeituras, sendo que se algum estabelecimento comercial que gere mais de 50 kg de resíduo por dia a responsabilidade passa a ser do estabelecimento produtor.

Segundo a NBR15849 (ABNT, 2010) são:

[...]resíduos que, em conformidade com o estabelecido na Resolução CONAMA no 404/2008, sejam provenientes de domicílios, serviços de limpeza urbana, pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, que estejam incluídos no serviço de coleta regular de resíduos e, que tenham características similares aos resíduos sólidos domiciliares.[...](ABNT, 2010)

#### 2.1.2.3 Entulhos

Os entulhos apesar de serem resíduos urbanos, recebem classificação própria, pois são resíduos oriundos da construção civil, restos de obra, materiais de escavações e afins. Sendo que as prefeituras são co-responsáveis normalmente em pequenas quantidades, na maioria dos casos são empresas específicas que trabalham com caçambas de entulhos. (ABRECON, 2011)

#### 2.1.2.4 Resíduos de serviços de saúde

São os resíduos oriundos de hospitais, laboratórios de análises clínicas, centros de saúde, clínicas médicas e veterinárias, consultórios odontológicos, etc. São subdivididos em resíduos comuns, (restos de alimento, papéis, etc), e resíduos sépticos (materiais com risco potencial a saúde). O gerador desses resíduos de saúde são os responsáveis pela sua destinação. Além disso podem conter materiais perfurantes. (FIOCRUZ, 2015)

#### 2.1.2.5 Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários.

Pelo risco de conter organismos patogênicos, capazes de veicular doenças entre cidades, estados ou países. Cabe ao gerador o gerenciamento e destinação final desses resíduos.

#### 2.1.2.6 Resíduos agrícolas

Nesse tipo estão os resíduos utilizados na agricultura e pecuária. Segundo Philippi jr, Roméro e Bruna (2004), na maioria dos casos as empresas fabricantes e fornecedoras são as responsáveis pelo recolhimento e destinação final dos resíduos. As embalagens de agroquímicos, por ter alto grau de toxicidade recebem uma legislação específica. Aos produtores rurais fica a responsabilidade pelos resíduos gerados pelos animais, o esterco, que normalmente é muito aproveitado como um adubo natural nas plantações ou pastagens. (PHILIPPI JR, 2004)

#### 2.1.2.7 Resíduos radioativos

São os resíduos provenientes de algum equipamento que utiliza elementos radioativos e de combustíveis nucleares. Sendo que esses resíduos são de responsabilidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEM).

### **2.1.3 A situação atual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**

O Brasil possui deficiências notáveis na questão de saneamento básico, como a gestão dos resíduos sólidos faz parte do saneamento, logo se encaixa nessa deficiência.

A geração de resíduos sólidos pode ser atrelada a renda da população de uma determinada região. Segundo a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE, 2016) a quantidade per capita de lixo produzido, varia de região pra região. Na região Norte e Nordeste a quantidade de lixo per capita produzida fica abaixo da média nacional, isso se deve ao fato de o produto interno bruto (PIB), nessas regiões serem menores que nas demais regiões. Já na região Sudeste e Centro-Oeste a quantidade de RSU gerada fica acima da média nacional, provavelmente por essas regiões apresentarem maiores rendas per capita. Já a região Sul foge a regra e mesmo sendo uma região de grande importância econômica, a geração de RSU fica abaixo da média

nacional, porém isso ocorre pois essa região é grande difusora de educação ambiental, chegando a ser exemplo para as demais. A Tabela 1 mostra essa diferença.

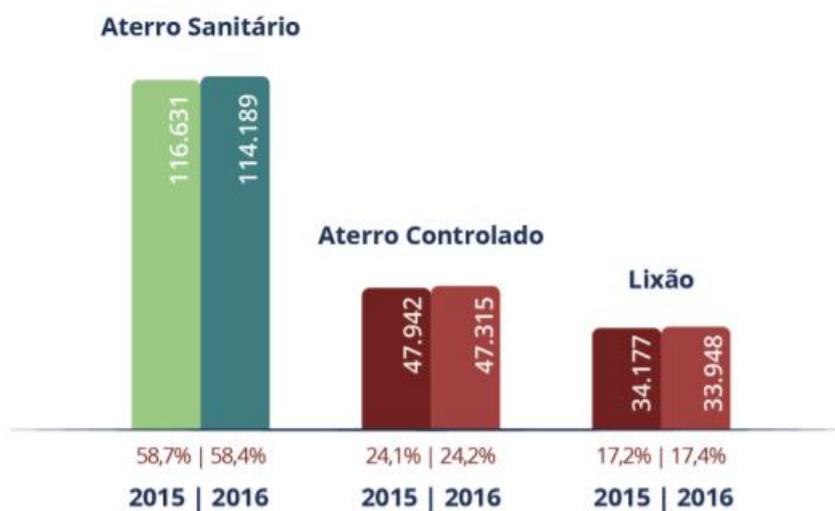
**Tabela 1 – Geração de RSU per capita**

REGIÃO	(KG/HAB/DIA)
Centro-oeste	1,085
Nordeste	0,967
Norte	0,871
Sudeste	1,213
Sul	0,752
Brasil	1,04

Fonte: ABRELPE, 2016.

A produção total de lixo em 2016 foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas como mostra ABRELPE (2016). Desse total 7 milhões de toneladas nem chegaram a ser coletadas, portanto bem provavelmente que tiveram destino indevido. 29,7 milhões de toneladas foram destinados a aterros controlados e lixões. 41,7 milhões de toneladas foram para aterros sanitários. Portanto somente 54% do lixo produzido no Brasil tem sido destinado a aterros sanitários. Como mostra os Gráficos 1 e 2.

**Gráfico 1 – Disposição final de RSU no Brasil (t/dia)**



Fonte: ABRELPE, 2016.

**Gráfico 2 – Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano)**

Fonte: ABRELPE, 2016.

As regiões que mais destinam os RSU de forma correta, ou seja, a maior quantidade de municípios que destina os RSU para aterros sanitários, são o Sudeste, e o Sul. A região Norte e Nordeste tem os piores índices de quantidades de municípios com correta destinação dos RSU. O Tabela 2 mostra isso.

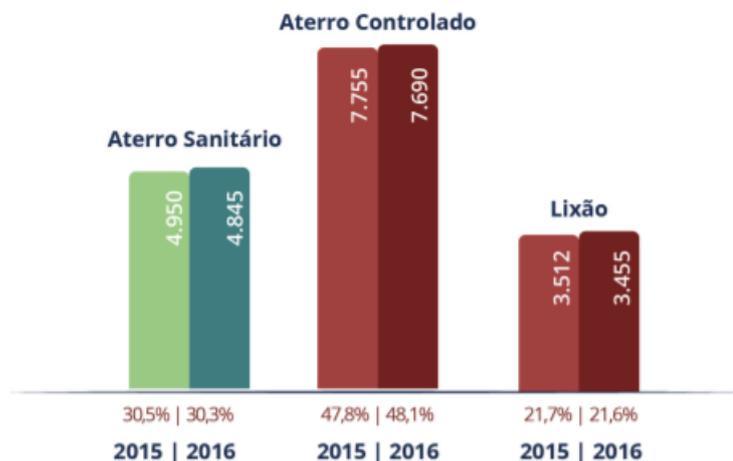
**Tabela 2 – Quantidade de municípios por tipo de destinação final adotada em 2016**

DISPOSIÇÃO FINAL	REGIÕES E BRASIL – 2016					
	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
Aterro sanitário	92	458	161	822	706	2239
Aterro controlado	112	500	148	644	368	1772
Lixão	246	836	158	202	117	1559
Total	450	1794	467	1668	1191	5570

Fonte: ABRELPE, 2016.

Nota-se que mais da metade dos municípios brasileiros ainda destina seus RSU de maneira indevida. Na Região centro-oeste a quantidade de lixo destinado a aterros sanitários, é bem menor que os outros métodos que impactam de forma negativa, o meio ambiente. Como mostra o gráfico 3.

**Grafico 3 – Disposição final de RSU na região Centro-Oeste (t/dia)**



Fonte: ABRELPE, 2016.

Essa diferença entre os gráficos 1 e 3 se dá pois a região centro-oeste é composta por muitas cidades de pequeno porte, isso dificulta a implantação de aterros sanitários pois o custo desses aterros acaba sendo alto para renda desses pequenos municípios.

#### 2.1.4 Características dos RSUs

Algumas características e propriedades dos RSU devem ser conhecidas para que se consiga um bom projeto de aterro sanitário. Porém algumas dessas propriedades não podem ser determinadas com precisão, isso se deve a grande heterogeneidade dos RSU, que de uma região para outra podem variar, conforme as condições socioeconômicas, à falta de amostragem, à alterações das propriedades dos RSU com o tempo e a falta de ensaios padronizados. (SANTOS, 2012).

##### 2.1.4.1 Composição gravimétrica

Segundo BOSCOV (2008), a característica que mais influencia o comportamento geomecânico é a composição gravimétrica dos RSU. Ela é o percentual (em peso) de cada componente dos resíduos em relação ao seu peso total. Sendo que essa composição gravimétrica é determinada por ensaios em amostras coletadas. Primeiro pesa a amostra, separa

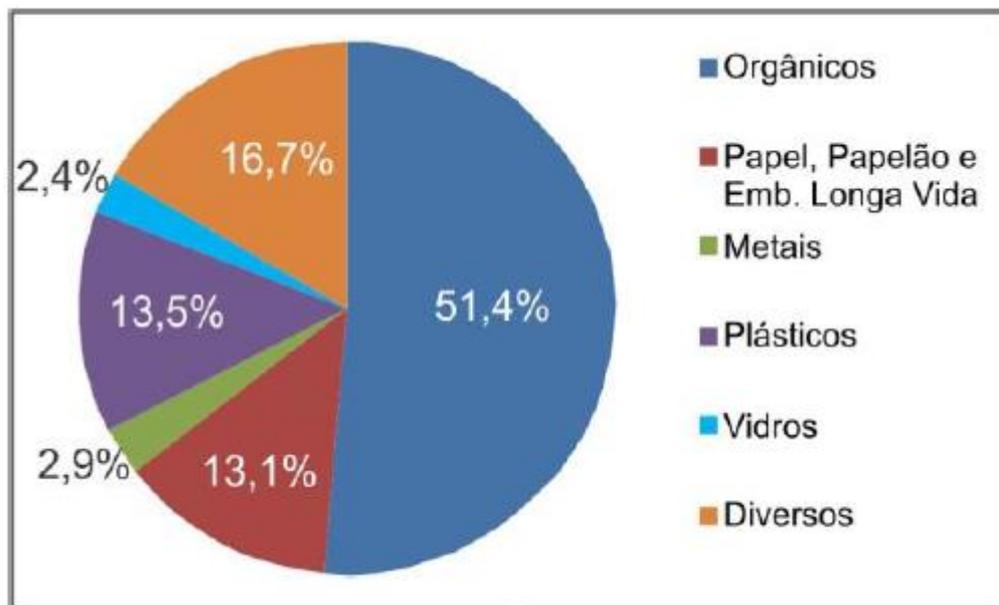
os tipos de materiais, pesa cada tipo. Então um determinado material “A” tem sua proporção na amostra dada pela equação 1. (CEMPRE, 2010):

Equação 1

$$\text{material A(\%)} = \frac{\text{peso da fração do material A(kg)}}{\text{peso total amostra (kg)}} * 100$$

A característica da composição gravimétrica normalmente varia de uma região para outra, sendo que em regiões mais ricas o percentual de matéria orgânica é menor que em regiões com menos poder aquisitivo, devido a uma menor manipulação de alimentos (SANTOS, 2012 *apud* LAMARE NETO, 2004). A figura 1 apresenta a composição gravimétrica dos RSU no Brasil em 2012.

**Figura 1 – Composição gravimétrica dos RSU no Brasil**



Fonte: ABRELPE, 2016.

Segundo Boscov (2008), a proporção de matéria orgânica é muito importante, pois a quantidade de gás e chorume produzidos no aterro sanitário, bem como a sua compressibilidade são diretamente influenciados por ela.

#### 2.1.4.2 Peso específico

Essa característica do RSU depende da composição gravimétrica, do grau de compactação, e da granulometria do material. Lembrando que no decorrer da decomposição da matéria orgânica o peso específico do material será diferente do inicial (BOSCOV, 2008).

Para determinação do peso específico dos resíduos sólidos não há uma norma para realizar os ensaios, essa determinação normalmente é feita retirando-se amostras de uma vala, pesando-a e medindo o volume da vala. Fazer a previsão de peso específico é importante para estimar a vida útil do aterro sanitário. (MOTTA, 2010)

O peso específico dos resíduos sólidos podem variar de 5,0 kN/m<sup>3</sup> até 13,0 kN/m<sup>3</sup>, dependendo da compactação, idade e outras condições. A Tabela 3 mostra essa variação que pode ocorrer no peso específico dos RSU. (SANTOS, 2012)

**Tabela 3– Peso específico de RSU em diferentes condições**

PESO ESPECÍFICO (kN/m <sup>3</sup> )	CONDIÇÕES
5,0 a 7,0	Resíduos novos, não decompostos e pouco compactados
9,0 a 13,0	Resíduos após compactação com tratores de esteira ou rolo compactador e após a ocorrência de recalques
7,0	Resíduos recém lançados
10,0	Resíduos após a ocorrência de recalques
10,0	Condição drenada
13,0	Condição saturada

Fonte: LAMARE NETO, 2004 (adaptado)

#### 2.1.4.3 Permeabilidade

Essa característica dos RSU dita a velocidade que o chorume vai para o sistema de drenagem, o que determina a eficiência desse sistema. Um RSU com uma permeabilidade baixa significa que o composto apresenta bolsões de gases e chorume enclausurados, o que poderá acarretar instabilidade no maciço (BOSCOV, 2008).

No Quadro 1 mostram-se os valores de permeabilidade, obtidos através de vários tipos de ensaios. Como mostra o quadro os valores de peso específico e de permeabilidade dos RSU

podem variar, na maioria dos casos, entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m/s. Na Tabela 4 mostra que os RSU apresentam um comportamento de permeabilidade parecido com o de uma areia média.

**Quadro 1 – Coeficientes de permeabilidade dos RSU**

PESO ESPECÍFICO (KN/M <sup>3</sup> )	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE K (M/S)	MÉTODO DE ENSAIO
11,0 - 14,0	$7 \times 10^{-6}$ - $2 \times 10^{-4}$ (compactação com rolo)	Ensaio de campo com carga variável
13,0 - 16,0	$5 \times 10^{-6}$ - $3 \times 10^{-7}$ (compactação dinâmica)	Ensaio em poço
9,0 - 12,0	$2 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-6}$	Ensaio de laboratório
9,0 - 12,0	$5 \times 10^{-4}$ - $3 \times 10^{-5}$ (pré-tratado)	Ensaio de laboratório
13,0 - 17,0	$2 \times 10^{-6}$ - $3 \times 10^{-5}$ (muito compactado)	Ensaio de laboratório
RSU misturado com entulho	$1 \times 10^{-8}$ - $10^{-3}$	Antes da compactação dinâmica
RSU misturado com entulho	$3 \times 10^{-8}$ - $1 \times 10^{-5}$	Após a compactação dinâmica
14,0 - 19,0	$1 \times 10^{-7}$	Ensaio in situ em furo de sondagem
-	$3,0 \times 10^{-7}$ - $2,5 \times 10^{-8}$	Ensaio in situ em furo de sondagem

Fonte: KONIG & JESSBERGER, 1997 *apud* CARVALHO, 1999. (adaptado)

**Tabela 4 – Coeficientes de permeabilidade dos solos**

Tipos de Solo	Coeficiente de Permeabilidade k (m/s)
Areias grossas	$10^{-3}$
Areias médias	$10^{-4}$
Areias finas	$10^{-5}$
Areias argilosas	$10^{-7}$
Siltes	$10^{-5}$ a $10^{-9}$
Argilas	$< 10^{-9}$

Fonte: SOUZA PINTO, 2006

#### 2.2.4.4 Resistência ao cisalhamento

Por tentar diminuir ao máximo a área utilizada para aterro, uma vez que se desvaloriza o terreno, exige que os aterros sanitários tenham maiores alturas e inclinações. Dessa forma conhecer as resistências características do RSU e de fundamental importância para se conseguir um aterro seguro e estável.

No cálculo de estabilidade de um talude, é necessário conhecer a resistência ao cisalhamento do material. Assim como no caso dos solos, para análise da resistência ao cisalhamento dos RSU é utilizada a envoltória de resistência de Mohr Coulomb. É associado aos resíduos um valor de coesão ( $c$ ) e um valor de ângulo de atrito ( $\phi$ ). A determinação desses parâmetros pode ser feita através de análises bibliográficas, ensaios de campo, ensaios de laboratório e por retroanálises de aterros rompidos (BOSCOV, 2008). A Figura 2 mostra uma faixa de valores de  $c$  e  $\phi$  que podem ser adotados em projeto.

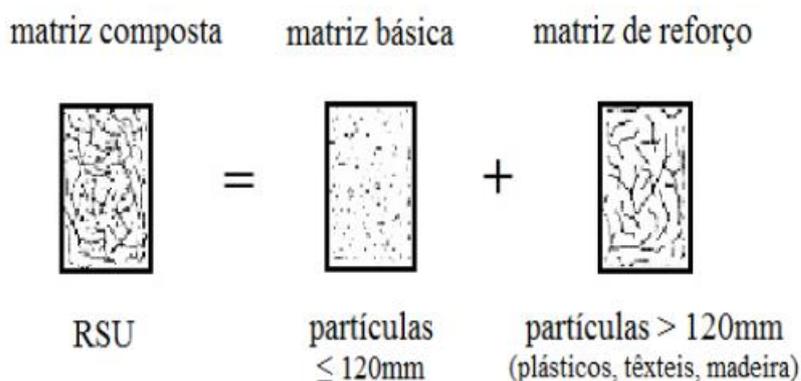
**Figura 2 – Faixa de parâmetros de resistência do RSU recomendados para projeto**



Fonte: Sanchez-Alciturri *et al.*, 1993, modificado por LAMARE NETO, 2004

Os RSU tem comportamento resistente parecido com o comportamento de solo reforçado. Alguns modelos de cálculos de solos reforçados com fibras são usados para calcular a resistência do RSU. É de conhecimento que muitos dos componentes dos resíduos são de partículas fibrosas, o que dá um incremento de tensões na resistência do RSU (ALVES, 2015). Segundo Motta (2010) a maioria das rupturas de aterros de RSU se dá devido as ações de cisalhamento associadas a ruptura por tração. A composição de RSU é exemplificada na Figura 3.

Figura 3 – Esquema da composição do RSU



Fonte: Kockel, 1995 apud Lamare Neto, 2004

#### 2.1.4.5 Deformabilidade

Os aterros sanitários apresentam uma deformabilidade bem elevada, isso se deve aos mecanismos variáveis como a degradação da matéria orgânica, a grande quantidade de vazios e a heterogeneidade dos RSU (BOWDERS *et al*, 2000).

A quantidade de recalques que afetam os maciços de RSU tem elevada importância, uma vez que o aumento desses recalques, aumenta-se também o volume para disposição de mais resíduos. Como sempre há uma crescente geração de resíduos e uma diminuição dos espaços disponíveis, esse aspecto torna-se mais importante na atualidade. (SOUZA PINTO, 2006)

Segundo Ling *et al.* (1998), os recalques finais de um aterro sanitário podem chegar até 40% da altura inicial. Apesar dos pontos positivos dos recalques, liberando mais espaço para dispor mais resíduos, a ocorrência de recalques após o fechamento do aterro, pode ocasionar trincas na cobertura final de terra. No Brasil segundo Catapreta (2008), a falta de informações acerca de aterros sanitários acontece principalmente devido a falta de instrumentação adequada e de monitoramento.

#### 2.1.4.6 Biodegradação

Essa característica ocorre devido aos processos físicos, biológicos e químicos. Esse processo de degradação é segundo Boscov (2008), comumente dividido em 4 fases.

Fase 1: é aeróbica e dura pouco tempo, ocorre pois o meio tem grande presença de oxigênio ( $O_2$ ). Normalmente começa após a disposição dos resíduos e podem durar até uma semana. Ocorre a decomposição do oxigênio ( $O_2$ ) e do nitrogênio ( $N_2$ ) que estão presentes nos resíduos recém dispostos, esse processo gera dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ). Essa decomposição gera calor e a temperatura nessa fase pode chegar até a  $60^\circ C$ .

Fase 2: quando o oxigênio presente nos resíduos é todo consumido, inicia-se o processo anaeróbico de biodegradação. A produção de  $CO_2$  nessa fase aumenta e produz ainda ácidos orgânicos líquidos com potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) de elevados valores. A duração dessa fase vai de um a seis meses, e nela é degradado de 5 a 10% da matéria degradável.

Fase 3: nessa fase conhecida como metanogênica acelerada, é produzido o gás metano ( $CH_4$ ). Os ácidos e o hidrogênio ( $H_2$ ) se transformam em  $CH_4$ ,  $CO_2$  e outras substâncias. Nessa fase o pH aumenta enquanto os valores de DBO e DQO diminuem.

Fase 4: nessa fase chamada de metanogênica desacelerada, o  $CH_4$  e  $CO_2$  continuam sendo produzidos, porém vai diminuindo lentamente. Essa fase leva cerca de 8 a 40 anos. Onde a decomposição do material sólido inicial atinge cerca de 50 a 70 % nesta fase.

Como foi mostrado, a biodegradação dos RSU gera varios efluentes, sendo que os principais efluentes se apresentam na forma líquida e gasosa.

#### 2.1.4.7 Efluente líquidos

O principal efluente produzido na fase anaeróbica (fase 2) é o chorume. É um líquido que tem um elevado poder de poluição devido as altas cargas de DBO e DQO, além de presença de metais pesados. Apresenta mau cheiro e cor escura. (LIMA, 2004)

Esse líquido proveniente da decomposição da matéria orgânica, é denominado por diferentes autores como: chorume, lixiviado ou percolado. Porém a ABNT (2010) define lixiviado como “líquido resultante da infiltração de águas pluviais no maciço de resíduos, da umidade de resíduos e da água de constituição de resíduos orgânicos liberada durante sua decomposição no corpo do aterro sanitário”. Já Alves *et al.* (2008), diferencia chorume como

sendo as águas provenientes da matéria orgânica decomposta no aterro, e percolado ou lixiviado como sendo a junção do chorume com a água que infiltrou no aterro, normalmente da chuva.

O lixiviado gerado no aterro sanitário apresenta altos valores de DBO e DQO, além de altas concentração de metais pesados e pH ácido. Porém com o passar dos anos esse lixiviado diminui as concentrações de DBO, DQO, de metais pesados e o seu pH torna-se mais alcalino. Isso ocorre segundo Alves *et al.* (2008), devido à degradação da matéria orgânica.

#### 2.1.4.8 Efluentes gasosos

Na fase metanogênica (fase 3), mostrada anteriormente, são gerados os principais gases. Esse biogás apresenta alto percentual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e gás metano (CH<sub>4</sub>), sendo que esses compostos são altamente poluidores da nossa atmosfera. Esse biogás pode apresentar pequenas quantidades de outros componentes como podem ser visto na Tabela 5.

**Tabela 5 – Composição típica do biogás**

GÁS	PERCENTUAL (EM VOLUME)
Metano (CH <sub>4</sub> )	45 a 60 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	35 a 50 %
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0 a 10 %
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0 a 4 %
Vapor da água (H <sub>2</sub> O)	2 a 4 %
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	inferior a 0,1 %
Monóxido de Carbono (CO)	inferior a 0,1 %
Gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	inferior a 0,01 %
Gases traços (até 350 comp.)	≈ 1 %

Fonte: ALVES *et al.*, 2008

A forma de diminuir os efeitos danosos desse biogás à atmosfera, é a sua coleta e a queima. Segundo Alves *et al.* (2008), a sua combustão gera outros gases, que vão ser 21 vezes menos danosos ao meio ambiente. Como a combustão do gás metano gera calor, em alguns aterros esse biogás é utilizado para a geração de energia elétrica, o que pode acarretar em um adicional econômico ao aterro sanitário, porém esse aproveitamento só é viável em grandes aterros.

### 2.1.5 Formas de disposição de RSU

Atualmente no Brasil a disposição de RSU só é aceita em aterros sanitários. Foi até instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos em 2010, que instituiu sobre a forma de disposição dos RSU e outras providências, com prazo para que todas as cidades tivessem aterros sanitários até 2014. Porém o país não conseguiu atingir essa meta proposta.

#### 2.1.5.1 Vazadores a céu aberto ou “lixão”

O método mais utilizado no Brasil para a disposição dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, ainda é o conhecido “lixão”, onde apenas vai se depositando um amontoado de lixo sem qualquer preocupação com a poluição dos solos e das águas subterrâneas (Figura 4). Em alguns casos é utilizado a queima do material inflamável para diminuição do volume, porém acaba poluindo também o ar com a liberação de CO<sup>2</sup> na atmosfera. Esses “lixões” acarretam também riscos à saúde pública, uma vez que em muitos casos são depositados resíduos industriais e de serviços de saúde. É a forma de disposição dos RSU mais inadequada do ponto de vista ambiental e sanitário. (ABNT, 2004)

**Figura 4 – Lixão**



Fonte: FERRAZ, 2017.

#### 2.1.5.2 Aterros controlados

São aterros onde se faz uma certa gestão dos resíduos. Em alguns caso faz-se uma vala para colocar os resíduos, porém sem nenhum processo para captação do chorume e nem estrutura para captação do gás metano, gerado no processo de decomposição do lixo.

De uma maneira menos prejudicial ao meio ambiente em relação ao lixão, o aterro controlado possui camada de cobertura diária e final, maior controle da composição dos resíduos a serem lançados e eventual compactação.

#### 2.1.5.3 Aterro sanitário

Segundo ABRELPE(2016) é o método mais utilizado no Brasil. Consiste em impermeabilizar o local onde será depositado o lixo, instalação dos sistemas de captação dos gases e líquidos gerados no processo de decomposição do lixo. Vai se depositando o lixo em camadas intercalada com camadas de terras, compactando ambos, até a sua capacidade, então fecha totalmente a célula com terra e planta gramíneas sobre essa terra para evitar a erosão. E faz se o monitoramento da célula durante vários anos.

Em termos mais técnicos, de acordo com a norma NBR 8419/92 da ABNT, um aterro sanitário é:

Uma 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. (ABNT, 1992)

#### 2.1.5.4 Compostagem

Já de imediato Philippi Jr, Roméro e Bruna (2004) deixa claro que esse assunto de compostagem é controverso, pois alguns o defendem com fervor outros já o rejeitam.

Ainda segundo esses autores a compostagem é o processo de reciclagem da matéria orgânica presente nos RSU, por meio de digestão aeróbica ao contrário do aterro sanitário que é anaeróbica. O composto gerado não pode ser considerado adubo, pois contém baixa concentração de nutrientes.

As vantagens da compostagem é a valorização da parte orgânica do RSU e aumento da vida útil do aterro sanitário. Já as desvantagens são o processo é mais caro que o aterro por

unidade de peso, possíveis contaminações com resíduos (metais, vidros, plásticos...) ou com metais pesados.

#### 2.1.5.5 Incineradores

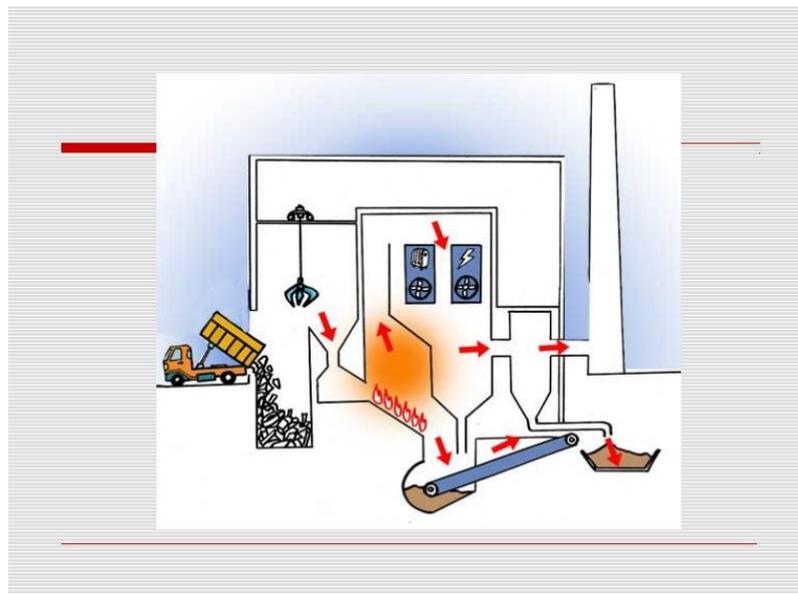
É um método de disposição final de resíduos onde ocorre a completa queima dos lixos, e muitas vezes se utiliza esse método para gerar energia. É mais difundido em países onde há dificuldade em conseguir áreas maiores disponíveis para criar aterros. É de custo bem elevado se comparado aos outros métodos.

Philippi Jr, Roméro e Bruna (2004) diz: “a princípio, a incineração visava unicamente à redução do volume dos resíduos, para aumentar a capacidade dos aterros industriais.”

Hoje com a preocupação ambiental esse método visa também a eliminação dos resíduos tóxicos ou perigosos, e gerando subprodutos como escórias, cinzas e gases (Figura 5).

Existem vários tipos de incineradores: de forno rotativo, de injeção líquida, de leito fixo, de leito fluidificado. Sendo que para se ter uma completa decomposição dos resíduos, em qualquer um dos modelos, deve se controlar as condições de combustão de forma criteriosa, sendo elas: temperatura, tempo de permanência, turbulência e elevados níveis de oxigênio.

**Figura 5 – Esquema do processo de incineração de lixo**

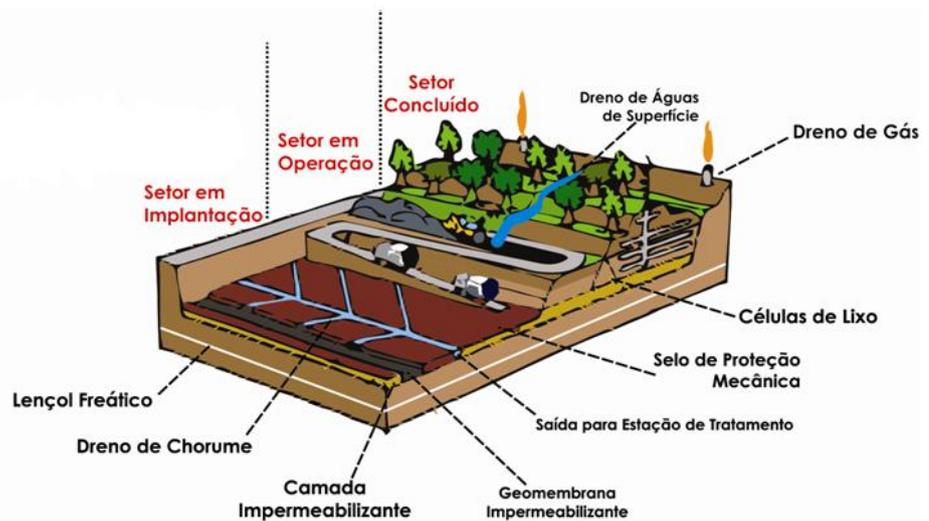


Fonte: OLIENIK, 2011.

## 2.2 ATERRO SANITÁRIO.

Como foi explicado anteriormente aterro sanitário é uma forma de disposição de RSU, de forma a proteger o meio ambiente e a poluição do contato com os resíduos e seus produtos (Figura 6).

Figura 6 – Esquema de uma aterro sanitário



Fonte – SEMARH-AL, 2016.

Esse processo é o mais aplicado no mundo, pois é bastante simples e seguro. Suas principais vantagens são:

- Baixo custo se comparado a outros métodos de tratamento de RSU;
- Equipamentos de baixo custo e de fácil operação;
- Pode ser implantado em terrenos desvalorizados;
- Evitam animais e insetos que transmitem doenças; e
- Não estão sujeitos a interrupções no funcionamento.

Já as desvantagens na utilização desse método na destinação dos RSU são:

- Perdas de matérias-primas;
- Transporte de resíduos a maiores distâncias;
- Desvalorização da região em torno do aterro sanitário;

- Riscos de contaminar o lençol freático;
- Produção de chorume e lixiviado;
- Necessário vigilância e monitoramento após o fechamento do aterro sanitário.

Philippi Jr, Roméro e Bruna (2004) diz que a construção de aterros está sujeita a uma série de normas, sendo diferentes as disposições de RSU e de resíduos industriais, em aterros sanitários, com normas específicas sobre cada um. Os aterros industriais são construídos para receber um tipo de resíduos específico, são divididos de acordo com as classes, podem ser, como foi visto anteriormente, classe 1, classe 2 e classe 3.

Algumas das normas relativas a aterros sanitários são:

- NBR 8418 – Apresentação de projetos de aterros industriais de resíduos industriais perigosos;
- NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitário de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 10157 – Aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação;
- NBR 13896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, construção e operação;
- NBR 15849 - Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituiu a resolução n.001/1986 que trata do licenciamento ambiental das instalações de tratamento e disposições final de resíduos sólidos no Brasil. Torna obrigatório o estudo de impacto ambiental (EIA) e o relatório de impacto ambiental (RIMA). A resolução do CONAMA estabelece ainda que o licenciamento ambiental se dará em três etapas: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

### **2.2.1 Aterro sanitário de pequeno porte**

A NBR 15849 (ABNT, 2010) institui que esse sistema de aterro sanitário pode ter uma estrutura mais simplificada, em cidades de menor porte, onde a geração de RSU é menor que 20 toneladas por dia, porém essa simplificação não deve causar dano ao meio ambiente.

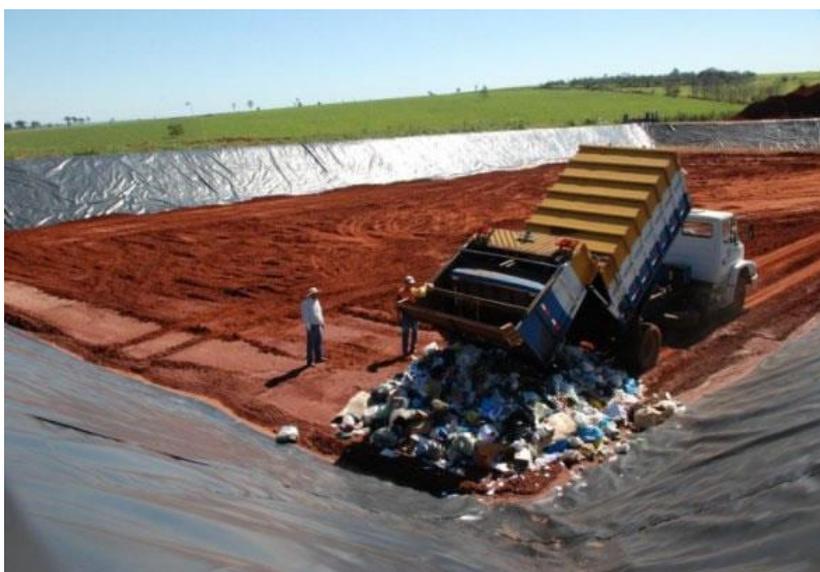
A mesma norma define aterro sanitário de pequeno porte como:

aterro sanitário para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t/dia ou menos, quando definido por legislação local, em que, considerados os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema possa ser simplificada, adequando os sistemas

de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública.(ABNT, 2010)

A NBR 15849 (ABNT, 2010) tira a obrigatoriedade dos aterros sanitários de pequeno porte a realização de EIA-RIMA, deixando a cargo do órgão ambiental responsável se achar necessário a realização desses. A Figura 7 mostra um exemplo de um aterro de pequeno porte sendo iniciado sua operação.

**Figura 7 – Início de utilização de aterro sanitário de pequeno porte**



Fonte: SILVA, 2009.

## **2.2.2 Etapas de projeto**

### **2.2.2.1 Escolha de área para aterro sanitário**

A escolha de uma área para implantação de aterro sanitário depende de uma série de critérios, tais como: zoneamento da região, plano diretor do município, grau de urbanização da cidade, aceitação da população, diretrizes federais, estaduais e municipais, parâmetros técnicos das normas, distância de vias de transportes, distância de cursos de água e vida útil do aterro.

Segundo Boscov (2008) para a implantação de aterro sanitário, seria bom utilizar áreas inutilizadas tipo: cortes de rodovias abandonadas, pedreiras ou cavas de mineração desativadas.

É necessário a realização de um estudo de viabilidade, já que essa etapa é fundamental na concepção de qualquer empreendimento. Esse estudo envolve aspectos de custos, sociais e

possíveis impactos ambientais. Normalmente se realiza um levantamento de dados, uma pré-seleção de possíveis áreas e por fim o estudo de viabilidade. (CEMPRE, 2010).

#### 2.2.2.2 Topografia do terreno

Em qualquer projeto de engenharia é fundamental conhecer a topografia do terreno onde a obra será disposta. Em aterros sanitários esse aspecto é mais importante, uma vez que influenciará no método de disposição dos resíduos e na conformação do aterro. A ABNT (2010) recomenda a escolha de locais para implantação do aterro com declividade entre 1% e 30%.

#### 2.2.2.3 Conhecimentos geotécnicos

##### 2.2.2.3.1 Sondagem SPT

É de suma importância conhecer as características geotécnicas do solo que será a base para o aterro, além de conhecer a profundidade do nível d'água. Para se descobrir essas características, a ABNT (2010) recomenda que seja feito ensaio SPT (Standard Penetration Test). O número de pontos deve ser o suficiente para uma boa caracterização do subsolo.

##### 2.2.2.3.2 Permeabilidade do solo

A recomendação da ABNT (2010) é que sejam feitos ensaios para se determinar a permeabilidade do solo, sendo que esses ensaios devem ser feitos associados as sondagens, para que a região ensaiada corresponda à área de assentamento da base do aterro. A recomendação é que seja realizados ensaios de carga como de rebaixamento ou de infiltração.

#### 2.2.2.4 Dados climatológicos

Alguns dados devem ser coletados para que se tenha uma caracterização climatológica da região do aterro sanitário, tais como: valores médios de temperatura, precipitação pluviométrica histórica, regime de chuvas, evapotranspiração, direção e intensidade dos ventos predominantes na região. O mais indicado é que esses dados sejam coletados de uma estação meteorológica, normalmente a mais próxima do aterro.

Conhecer a incidência de chuvas na região é importante, uma vez que esse fator interfere na quantidade de percolado gerado, e no dimensionamento dos sistemas de drenagem e de tratamento, e no sistema de drenagem das águas pluviais.

A ABNT (2010) lembra que o conhecimento sobre a direção e intensidade dos ventos é importante, pois permitirá analisar os efeitos do carregamento de particulado e dos odores gerados pelo aterro, e se isso afetará populações vizinhas.

#### 2.2.2.5 Quantificação da geração de RSU

Como os aterros sanitário são projetados para 10 anos ou mais é importante fazer uma projeção de crescimento da população e de geração de RSU, para se saber a quantidade de resíduos que serão acondicionados. Além do crescimento populacional a geração de resíduos per capita está diretamente ligada ao volume de RSU a serem dispostos do aterro sanitário.

Apesar de existir vários métodos para se estimar o crescimento populacional, Alves et al. (2008) indica a utilização da equação 2:

$$PT = P0 * e^{kt}$$

Onde: P0 = População do ano corrente; PT = População do ano futuro; T = Período de tempo da projeção; K = Taxa de crescimento Geométrico.

Assim pode-se criar uma tabela com a população projetada de ano a ano até a vida útil do aterro, com os respectivos volumes de RSU gerados a cada ano.

#### 2.2.2.6 Sistemas de proteção

Para que se tenha uma proteção dos solos e das águas subterrâneas, o sistema de proteção do fundo tem como objetivo minimizar a infiltração de percolado e biogás no solo abaixo do aterro. Esse sistema segundo CEMPRE (2010), deve apresentar estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica e as intempéries. Deve ter ainda compatibilidade química, física e biológica com os resíduos que serão depositados ali.

A proteção do fundo da vala é realizada por meio de compactação do solo, ou por uso de membranas geossintéticas, ou mesmo pela combinação de ambos, com finalidade de impermeabilizar o fundo do aterro. O solo que melhor atende as características desejadas para o caso são os argilosos. Já as membranas geossintéticas de polietileno de alta densidade (PEAD) são as que tem mostrado boa experiência no Brasil e em outros países (CEMPRE, 2010).

É fundamental que na execução do revestimento de fundo se tenha um controle tecnológico rigoroso, o que garantirá sua qualidade. A Figura 8 mostra um esquema de revestimento de fundo com camada composta por argila impermeável e membrana geossintética.

Figura 8 – Configuração de uma camada de proteção de fundo



Fonte: BOSCOV, 2008.

No entanto a ABNT (2010) diz que se for atendido alguns critérios, pode-se dispensar o sistema de impermeabilização de fundo, mas somente para aterros de pequeno porte. Esses critérios são a porcentagem de matéria orgânica nos resíduos, a profundidade do lençol freático, o valor do excedente hídrico anual e a permeabilidade do solo. A Tabela 6 mostra os valores limites em cada critério.

Tabela 6– Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo

Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar.		Fração orgânica dos resíduos $\leq 30\%$				Fração Orgânica dos resíduos $> 30\%$			
		Profundidade do freático (m)				Profundidade do freático (m)			
		$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$	$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$
Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	$1 \times 10^{-6} \leq k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
	$1 \times 10^{-5} \leq k \leq 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

Fonte: ABNT, 2010.

### 2.2.2.7 Sistema de drenagem de lixiviado

Este sistema é o responsável por coletar e conduzir o lixiviado para o local destinado a acumulação e posterior tratamento. É responsável também por diminuir a pressão na massa de RSU, garantindo assim uma melhor estabilidade do maciço, além de atuar também diminuindo o potencial de infiltração no subsolo (BOSCOV, 2008).

O sistema de drenagem é composto por drenos de tubos perfurados e material filtrante. Ainda segundo Boscov (2008), os materiais empregados como filtrantes são as britas, areis e rachão (pedra com diâmetro de 20 a 76 mm).

Ao dimensionar esse sistema deve-se conhecer a geometria da massa de lixo e a vazão de lixiviado a ser drenada. Esse drenos podem ser escavados no solo ou dispostos sobre a base, em ambos preenchidos com o material drenante. É comum acoplar esses drenos a drenagem de gases.

Para aterros de pequeno porte a ABNT (2010) aconselha que seja utilizado material rochoso na drenagem do fundo, ou outro material que permita espaços vazios, e evite a colmatação. Em caso de necessidade deve-se cobri os drenos com material que drene os líquidos e retenha partículas finas.

A Figura 9 mostra a execução de drenagem de fundo, executado direto no solo da fundação. Como detalhe para a mata de impermeabilização, tubo e material drenante, nesse caso o aterro de Monte Carmelo -MG foi utilizado brita e rachão.

**Figura 9 – Execução de drenos**



Fonte: ASCON, 2009

#### 2.2.2.8 Estimativa da quantidade de lixiviado

Os fatores que mais influenciam na geração de lixiviado são as características dos resíduos como a composição, a idade e a quantidade, juntamente com as características da camada de cobertura: permeabilidade, declividade e vegetação, além ainda da pluviometria do local. Fazer essa estimativa de quantidade de lixiviado é importante para um bom dimensionamento de sistema drenagem.

Nos aterros maiores o método mais utilizado para estimar o lixiviado gerado é o método do balanço hídrico. Segundo Boscov (2008), nesse método consideram os dados das características hidráulicas da camada de cobertura e da massa de resíduos, e os dados pluviométrico locais. Como há uma certa dificuldades em estimar as características da massa de resíduos, algumas hipóteses simplificadas são adotadas principalmente em aterros de menor porte.

Segundo Barros (2004), um método estabelecido na Suíça torna mais simples a determinação da quantidade produzida de lixiviado, esse método considera a hipótese de que todo lixiviado é função da água da chuva. Porém apenas uma parte do volume de chuvas que cai sobre o aterro resultará em lixiviado.

Em resumo o método diz que em aterros poucos compactados (peso específico entre  $0,4 \text{ tf/m}^3$  a  $0,7 \text{ tf/m}^3$ ), estima que cerca de 25 a 50% da precipitação anual que incide sobre o aterro se infiltra e se transforma em lixiviado. No entanto em aterros muito compactados (peso específico acima de  $0,7 \text{ tf/m}^3$ ), somente cerca de 15 a 25% da precipitação incide sobre o aterro se transformará em lixiviado.

#### 2.2.2.9 Sistema de drenagem de gases

A função desse sistema é drenar os gases provenientes da decomposição da matéria orgânica, evitando assim sua dissipação direta para a atmosfera, e direcionando para seu tratamento. Além disso se esses gases não são drenados, e permanecem no interior do aterro poderá causar instabilidade no maciço, pois aumentam as pressões internas. (ALVES, 2015).

Os drenos são colocados na vertical desde o fundo até a cobertura do aterro. Os gases mais leves que o ar se direcionam para a superfície e os mais pesados são coletados pelos drenos de lixiviados.

Normalmente o sistema de drenagem de gases são interligados com os sistema de drenagem de lixiviado. Isso acaba sendo benéfico pois os lixiviados das camadas superiores de resíduos se direcionam para o sistema de drenagem de lixiviado por meio dos drenos de gases.

Esse drenos são dispostos atravessando toda a massa de resíduos até acima da cobertura formando uma espécie de chaminé. São constituído de tubo de concreto perfurados revestidos por uma espécie de camisa de brita (Figura10), cuja espessura deve ser igual ao diâmetro do furo.

Não existe um modelo de cálculo comprovado para estabelecer a vazão de biogás a ser drenada, como o dimensionamento dos drenos depende dessa vazão, logo são projetados de modo empírico prezando, como lembra (CEMPRE, 2010), o bom senso do projetista.

**Figura 10 – Dreno de gás aterro sanitário de Jaboticabal - SP**



Fonte: JABOTICABAL, 2017.

Vale ressaltar que o sistema de drenagem de gases pode ser dispensado, dependendo da altura final do aterro, e da porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos. A Tabela 7 mostra as condições que a NBR 15849 da ABNT (2010) define pra a adoção ou dispensa do sistema de drenagem de gases.

Tabela 7– Instruções para a consideração do sistema de drenagem dos gases (ABNT, 2010)

CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO	ALTURA FINAL DO ATERRO (M)		
	< 3	> 3	
FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS (%)	< 30	Dispensar	Dispensar
	> 30	Dispensar	Considerar

Fonte: ABNT, 2010

#### 2.2.2.10 Camada de cobertura

A finalidade dessa camada de cobertura é de proteger a superfície das células de lixo, evitando a presença de catadores e a proliferação de odores e animais indesejáveis, bem como permitir a movimentação de máquinas e veículos coletores. Nos aterros sólidos urbanos existem três tipos de camada de cobertura: diária, intermediária e final.

A camada diária é a utilização de solo ou outro material (geossintético), para cobrir os resíduos depositados em cada jornada de trabalho (figura 11). Sua finalidade é evitar a dispersão de materiais mais leves como plásticos e papéis, e também a presença de vetores como ratos e insetos. Normalmente é utilizado 20 cm de solo. (CEMPRE, 2010).

Já a camada intermediária é indicada na conclusão de uma etapa (célula) do aterro, ou melhor, quando uma área ficará inativa por período maior que um mês, nessa etapa segundo Alves *et al.* (2008) o costume é utilizar 30 cm de solo argiloso compactado.

A cobertura final por sua vez tem finalidade de diminuir a eliminação dos gases diretamente para atmosfera, e ainda de controlar a entrada da água da chuva no interior do aterro, uma vez que esse excesso de água aumenta a quantidade de lixiviado produzido e instabilidade no maciço como já foi discutido. Nessa camada se utiliza em geral 60 cm de espessura de solo argiloso compactado, isso após o aterro atingir sua conformação geométrica final (ALVES *et al.* 2008).

Esse sistema de cobertura final deve ter boa resistência quanto a erosão além de se adequar à futura utilização da área. É altamente indicada a revegetação do local, pois diminui o potencial de água infiltrada no terreno por meio da evapotranspiração, e diminui o risco de erosão. Essa camada deve sofrer manutenção constante mesmo após a vida útil do aterro, de forma que mantenha as características de projeto.

**Figura 11 – Cobertura diária de terra**



Fonte: VITÓRIA, 2014.

#### 2.2.2.11 Sistema de águas pluvias

A função desse sistema é de proteger o corpo do aterro de infiltração da água da chuva e evitar possíveis erosões da camada de cobertura. É importante que esse sistema seja construído com materiais flexíveis, uma vez que a massa de resíduos, mesmo após seu fechamento, apresenta alta deformabilidade. Os materiais mais indicados são colchões de reno ou gabiões. Não é indicada a utilização de concreto, pois este é menos flexível e os recalques da massa de resíduos provocariam trincas na estrutura.

Tanto o gabião quanto o colchão de reno são constituídos por pedras. Os gabiões tipo caixa são formados por uma rede metálica de malha hexagonal e tem formato de prisma retangular. Já os colchões de reno (Figura 12) também são gabiões, porém com espessura menor normalmente até 30 cm, e a rede metálica tem malhas menores se comparado com o gabião de caixa (BOSCOV, 2008).

**Figura 12 - Sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno**



Fonte: SOUZA, 2010.

#### 2.2.2.12 Monitoramento de aterro sanitário

Deverá existir um plano de monitoramento do aterro sanitário, em que deva constar as inspeções periódicas principalmente após a desativação do aterro sanitário, ou seja após o fim da deposição de material, e o fechamento final do aterro.

Nesse monitoramento observa-se o estado da camada de cobertura, bem como as obras de drenagens fluviais, inspeciona o sistema de gases e de lixiviado, e faz-se análises nas águas do subsolo e águas superficiais próximas para detecção de possível contaminação do lençol freático. Exemplo de um aterro após o fechamento. (Figura 13)

**Figura 13 - Aterro sanitário após seu fechamento**



Fonte: ENVIPRO, 2015.

Segundo Philippi Jr, Roméro e Bruna, (2004) poderá conter ainda um plano para uso futuro da área. Normalmente essas áreas se tornam jardins, parques, áreas esportivas ou recreativas, de lazer ou mesmo área verde.

### 3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso refere-se a um projeto de aterro sanitário de pequeno porte. Será considerado que os estudos de escolha do local já foram realizados pela prefeitura e a área de implantação do aterro já foi fornecida pela mesma. Este trabalho desenvolverá uma proposta de projeto fictício de aterro sanitário a ser implantado nessa área já determinada.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

O aterro sanitário será instalado no município de Silvânia, mais precisamente entre Silvânia e Vianópolis, às margens da rodovia GO-010, distante 6 km da cidade de Silvânia e 12 km da cidade de Vianópolis. O município de Silvânia tem uma população estimada de 20.695 habitantes e Vianópolis tem 13.863 habitantes para o ano de 2019 (IBGE, 2015).

**Figura 14 – Localização do aterro no mapa**



Fonte: Google Earth, 2019.

#### 3.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Segundo LANGE (2008) o licenciamento ambiental é o processo pelo qual a empresa licencia a localização, abertura, ampliação e execução de algum empreendimento e atividade de pessoa física ou jurídica, que utilizam recursos ambientais e são consideradas poluidoras ou

com risco de causar danos ao meio ambiente. Esse licenciamento é emitido por órgãos ambientais estaduais ou municipais. Sendo que as fases do licenciamento podem variar em cada estado, mas estas fases seguintes estão sempre presentes.

Licença prévia (LP): autoriza a empresa a elaborar o projeto executivo e seus estudos de impactos ambientais com a construção do aterro. Após o pedido da LP o órgão de controle ambiental fará a instrução técnica para direcionar o estudo de impacto ambiental (EIA), bem como seu relatório (RIMA). Para o presente projeto não será necessário o EIA-RIMA, uma vez que existe uma Resolução da Secretaria estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás (SEMARH) que dispensa municípios com menos de 100000 habitantes, da necessidade de realização desse estudo.

Licença de instalação (LI): Autoriza a execução das obras de construção do aterro conforme o projeto executivo, com medidas de controle ambiental. Com a aprovação da LI acontece o início da construção do aterro sanitário.

Licença de operação (LO) autoriza e libera a operação do empreendimento, depois de fiscalizar o cumprimento das licenças referidas anteriormente. Normalmente tem prazo de 4 a 6 anos de validade, podendo ser revalidada periodicamente. Pode ocorrer o cancelamento da licença, caso aja alguma irregularidade.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

A área adquirida pela prefeitura de Silvânia para a instalação do aterro sanitário é de aproximadamente 8,7 hectares (Figura 15). O acesso ao local se dá pela rodovia GO-010 ficando não mais que 500 metros distante desta. O perímetro urbano de Silvânia fica a 6 km de distância desta área. Ficando esta área ao lado do lixão de Silvânia. Há algumas empresas de armazenagens de grãos distante 1 km da referida área. Foi observado também que a nascente de água mais próxima se encontra a mais de 200 metros da área. Está área faz divisa com a linha férrea que corta esses municípios.

**Figura 15 – Características da área**

Fonte: Google Earth, 2019.

Na região predomina atividades rurais principalmente a produção de grãos (soja, milho, sorgo, etc) e algumas áreas destinadas a criação de gado. A topografia da área de implantação do aterro apresenta uma parte quase plana e outra com declividade de até 15%. A diferença máxima encontrada entre as cotas é de 5 metros. (Figura 15)

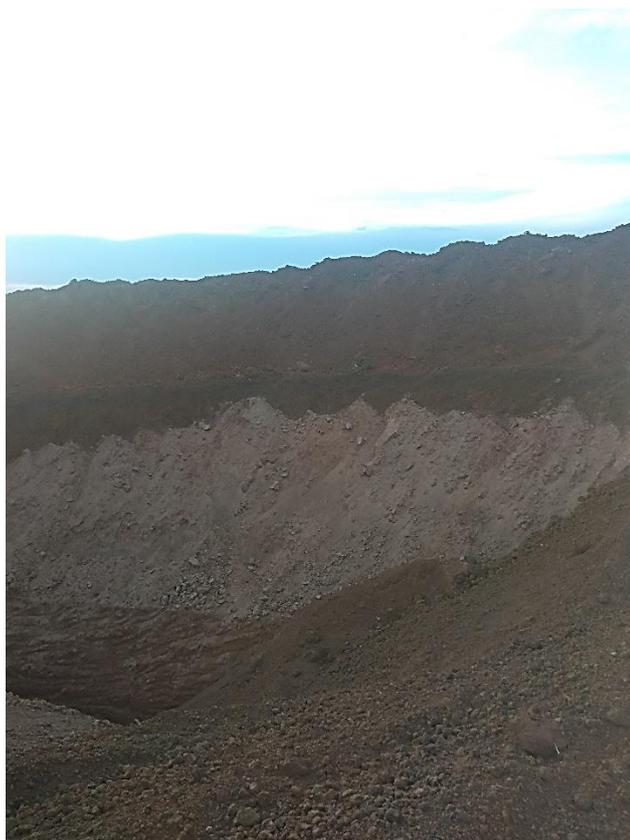
**Figura 16 – níveis de cota do terreno**

Fonte: próprio autor, 2019.

### 3.3.1 Caracterização geotécnica do solo

Foi encontrado 2 tipos de solo, o primeiro é argila arenosa amarela com até 3 metros de profundidade, e o segundo é um solo arenoso mais avermelhado e com presença de cascalho. (Figura 17)

**Figura 17 – Características do solo**



Fonte: próprio autor

A caracterização do solo foi feita de forma visual, uma vez que tem uma escavação (figura 18) no terreno ao lado a uma profundidade de aproximadamente 9 metros, onde seria construído um armazém de grãos. Na escavação não foi constatado afloramento do lençol freático.

A NBR 13896 (1997) diz que deve haver no mínimo 3 metros de espaçamento entre o lençol freático e o fundo da vala. Como a profundidade das trincheiras será de 4 metros está dentro do especificado.

**Figura 18 - Escavação no terreno vizinho**



Fonte: próprio autor

### **3.3.2 Dados climatológicos**

Na região de Silvânia, a estação da seca que dura 5,8 meses vai de abril a outubro. Já a estação das águas dura 6,2 meses e vai de outubro a abril, e nessa estação a umidade é mais alta bem como a temperatura, o que cria um clima abafado e encoberto com grande quantidade de nuvens. Já na estação seca a umidade é baixa e quase não tem nuvens, com temperaturas elevadas também.

A temperatura ao longo do ano varia em média de 15 °C a 31 °C, pode raramente descer de 12 °C ou passar de 34 °C.

A precipitação media anual para a cidade de Silvânia é de 1500 mm, segundo Climatedo (2019), com distribuição irregular ao longo do ano, e com picos de 250 mm nos meses mais chuvosos. A evapotranspiração real na região é de 890 mm. Indicando um excedente hídrico anual de 610 mm

Observou-se que os ventos incidentes no local predominantemente vem do leste e poucos meses vem do norte.

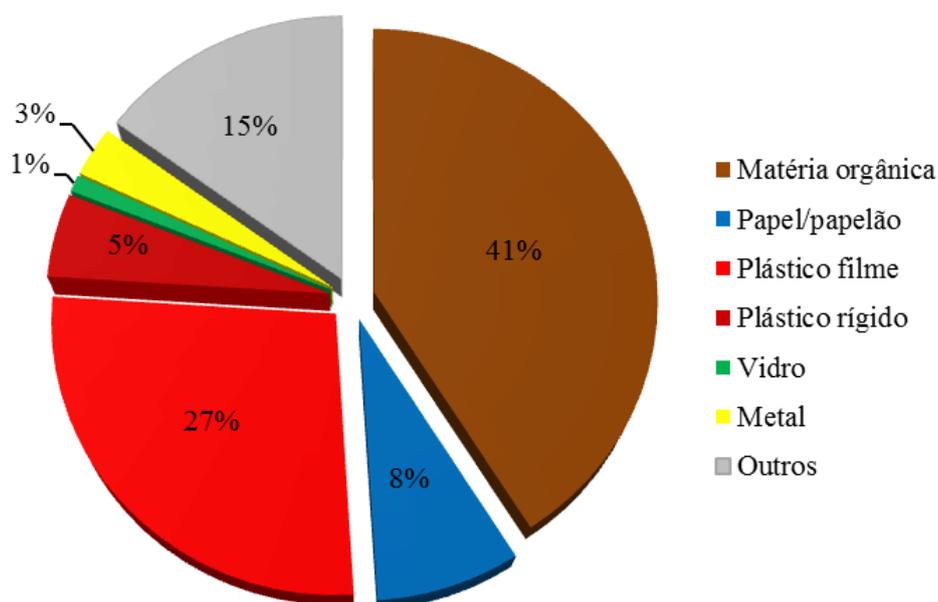
### 3.4 CARACTERÍSTICA DOS RSU DA REGIÃO

Os resíduos sólidos que serão depositados no aterro sanitário, são provenientes dos municípios de Silvânia e de Vianópolis, vindos de estabelecimentos comerciais, da varrição das vias públicas e da coleta das residências. Esses resíduos são considerados de classe II, ou seja, não perigosos.

#### 3.4.1 Composição gravimétrica

Não foram realizados ensaios para a determinação da composição gravimétrica do RSU de Silvânia e Vianópolis. Em geral esses valores não apresentam grande discrepância entre as cidades brasileiras. Portanto serão utilizados valores obtidos de outras cidades. Como mostra o Gráfico 4

Gráfico 4 – Composição gravimétrica dos RSU



Fonte: BERTICELLI, 2017.

#### 3.4.2 Peso específico

O valor do peso específico dos RSU será estimado em 8 kN/m<sup>3</sup>. Sabendo que o processo de compactação dos resíduos será feito por máquinas pesadas, alguns autores indicam adotar esse peso específico de 8 a 10 kN/m<sup>3</sup> para aterros bem compactados.

### 3.5 ESTIMATIVA DO VOLUME DE RSU

As cidades de Silvânia e Vianópolis tem respectivamente 20.695 e 13.863 habitantes (IBGE 2019), com produção estimada, de 17 e 12 toneladas de RSU respectivamente, o que resulta numa geração per capita de 0,84 kg/hab/dia. Será estimado um volume de RSU a ser ocupado no aterro considerando uma vida útil de 20 anos.

A população atual das cidades em questão somadas dá 34558 habitantes. Será adotada taxa de crescimento geométrico de 1,15% ao ano, taxa obtida para o crescimento populacional para Goiás (IBGE, 2015).

Serão necessários ainda para estimar o volume de RSU, a massa específica do RSU compactado que foi adotado 0,8 t/m<sup>3</sup>, e o recalque máximo na massa de resíduos por efeito da decomposição que será adotado de 30%.

Na Tabela 8 observa-se a produção anual e acumulada do volume de RSU que será ocupado no aterro sanitário para uma vida útil de 20 anos.

**Tabela 8 – Projeção do volume de RSU a serem dispostos no aterro**

ano	população anual (hab)	RSU		
		massa (ton/ano)	volume (m <sup>3</sup> /ano)	volume acumulado (m <sup>3</sup> )
1	34558	10595	13244	13244
2	35076	10754	13443	26687
3	35603	10916	13645	40332
4	36137	11079	13849	54181
5	36679	11246	14057	68238
6	37229	11414	14268	82506
7	37787	11586	14482	96988
8	38354	11759	14699	111688
9	38929	11936	14920	126607
10	39513	12115	15143	141751
11	40106	12296	15371	157121
12	40708	12481	15601	172722
13	41318	12668	15835	188558
14	41938	12858	16073	204630
15	42567	13051	16314	220944
16	43206	13247	16559	237503
17	43854	13446	16807	254310
18	44511	13647	17059	271369
19	45179	13852	17315	288683
20	45857	14060	17575	306258

Fonte: próprio autor, 2019.

De acordo com a tabela 8, o volume que os resíduos irão ocupar no aterro após a compactação e sem considerar o recalque decorrente da decomposição dos resíduos é de 306258 m<sup>3</sup>. Considerando um recalque de 30% na massa de resíduos, o volume de aterro necessário para uma vida útil de 20 anos é estimado:

$V_{\text{final}} = V_{\text{inicial}} \times (1 - \rho) = 306258 \times (1,00 - 0,03) = \text{aproximadamente } 214380 \text{ m}^3$ .  
Considerando um acréscimo de 20% no volume para preenchimento das coberturas de solos, será necessário um volume de 257256 m<sup>3</sup> para instalação e operação deste aterro sanitário.

### 3.6 COMPONENTES DO ATERRO SANITÁRIO

O aterro deve conter alguns ambientes específicos para execução dos serviços. Dentre eles:

- ✓ A portaria ou recepção onde ocorre a inspeção e controle dos caminhões e veículos que entram no aterro.
- ✓ A balança para que seja feita a pesagem dos veículos que transportam os RSU, para manter o controle da quantidade de resíduos depositados no aterro.
- ✓ Todo o local deve haver sinalizações com placas indicando locais de risco, uso de equipamentos de proteção individual, e mais o que for necessário.
- ✓ Toda a área do aterro deve receber isolamento com cerca de tela ou alambrado, impedindo a entrada de pessoas não autorizadas, e de animais.
- ✓ Todo o perímetro da instalação deve ser cercado com espécies arbóreas para compor o chamado cinturão verde.
- ✓ Todos os acessos devem ser construídos de maneira a facilitar a circulação dos caminhões e máquinas e dos trabalhadores.
- ✓ Toda a instalação deve ter iluminação, para uso noturno quando necessário, e rede telefônica, celular ou de rádio, para comunicação com trabalhadores ou órgãos externo.
- ✓ Deve haver abastecimento de água tratada nas instalações para os trabalhadores.
- ✓ Tem de haver um local próprio para administração, com escritório, refeitório, sanitários e vestiários para o corpo operacional.
- ✓ Se possível deve haver equipamentos que verifiquem o bom funcionamento do aterro, como medidores de vazão e de recalques, entre outros.

### 3.7 OPERAÇÃO DO ATERRO

A operação do aterro deve ter um planejamento e sistematizar os procedimentos para que seja eficiente, funcionando com qualidade, gerando o mínimo de impacto ambiental e garantindo que os resíduos gerados sejam depositados de forma adequada. Deve se ter um controle do volume de resíduos, é importante fazer relatórios diários, mensais e anuais, formulários e planilhas para o controle total do local, esses materiais devem ser arquivados para serem analisados e estudados periodicamente para saber o desempenho do aterro (LANZA, 2006).

A coleta dos RSU será efetuada sobre a responsabilidade das prefeituras de Vianópolis e de Silvânia, bem como o transporte até o aterro.

Ao receber os resíduos será feita uma inspeção na qual se identifica o veículo coletor, será feita a pesagem desse veículo, e anotado nas planilhas, bem como a origem do resíduo, a natureza e a classe dos mesmos. Devendo o profissional recusar o resíduo quando este estiver fora da classe de recebimento do aterro. O profissional deve orientar o motorista quanto ao local para descarga. (LANZA,2006)

Para este aterro será admitido somente resíduos sólidos de Classe II, que a NBR 10.004 (2004), classifica como Resíduos Não Inertes, que não apresentem características de periculosidade, são resíduos domiciliares e outros, biodegradáveis como papel, madeira, plantas, resíduos desidratados de tratamento de esgoto, de tratamento de água, resíduos sólidos de comércios e indústrias que tenham classificação II.

Para funcionamento do aterro de Silvânia e Vianópolis, serão necessários:

- ✓ Equipamento topográficos, como estação total ou similar;
- ✓ Trator de Esteira, que servirá tanto para espalhar os resíduos como para compactar;
- ✓ Retroescavadeira/Pá carregadeira para retirar terra da próxima trincheira e para encher os caminhões;
- ✓ Caminhão caçamba basculante, necessário para fazer o transporte de solos;
- ✓ Rolo compactador, esse equipamento será utilizado somente nas compactações dos fundos das trincheiras;
- ✓ Motoniveladora, também será utilizada para a perfeita construção das trincheiras;
- ✓ Solos argilosos para a impermeabilização;
- ✓ Solos para cobertura diários dos resíduos;
- ✓ Gramíneas para cobertura final das trincheiras e ajudar a evitar a erosão;

- ✓ Estacas e piquetes de madeiras para marcação.

**Figura 19 – Trator de esteira operando em um aterro**



Fonte: CONQUISTA, 2019.

Segundo LIMA (2004) é extremamente importante que os funcionários utilizem diariamente os equipamentos de proteção individual, bem como se estão em dias com as vacinas. As mãos de obras que serão necessários para o bom funcionamento do aterro: engenheiro responsável, encarregado geral, ajudantes de operação, operadores das máquinas, topógrafo, auxiliar de serviços gerais, vigilantes.

A disposição dos resíduos deve ser limitada pelos profissionais de topografia, com estacas visíveis para o tratorista, onde delimita a área que suporte o volume diário de resíduos, tornado a operação mais prática. Se no local ocorrer ventos fortes é necessário a utilização de telas de proteção, bem como reservar uma área para disposição emergencial em caso de impedimento por períodos chuvosos.

Deve ser feito o espalhamento e compactação por um trator de esteiras com peso mínimo de 15 toneladas, portanto esse equipamento deve ficar a disposição no aterro por tempo integral.

O processo de compactação deve ser feito de baixo para cima, repetidas vezes, até que a camada esteja perfeitamente compactada, sendo importante a realização sempre q possível de um teste de densidade dos resíduos para analisar e verificar o controle da compactação.

Após o fim da compactação dos resíduos é colocado uma camada de terra de preferência no final do expediente. Essa cobertura vai garantir que não ocorra mal cheiro e vete a presença de animais indesejados. A espessura dessa camada de solo pode variar de 15 a 20 cm.

Quando finalizar a deposição de RSU na trincheira essa receberá uma camada de 60 cm de argila compacta, e em seguida ocorrerá o plantio de gramíneas sobre toda a trincheira, com a finalidade de prevenir erosões.

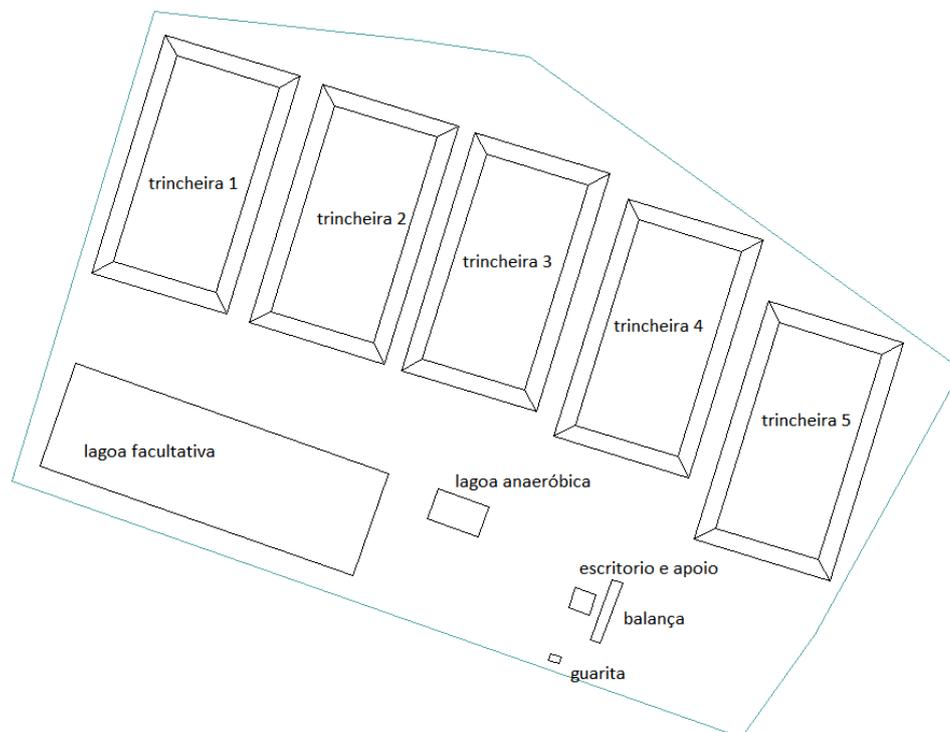
### 3.8 GEOMETRIA DO ATERRO

Serão escavadas 5 trincheiras de  $51.451 \text{ m}^3$  cada uma, o suficiente para disposição de resíduos coletados durante 4 anos para cada trincheira. O solo proveniente da escavação da próxima trincheira será utilizado nas coberturas dos resíduos da trincheira em operação.

Cada trincheira terá o formato de dois troncos de pirâmides retangulares, sendo que um tronco de pirâmide será escavado no terreno, portanto 4 metros de profundidade, e a outra se elevará 4 metros acima do nível do terreno.

As dimensões delas serão: a base maior (nível do terreno) medindo  $117 \times 66$  metros, e a base menor (fundo da trincheira)  $103 \times 50$  metros e com altura de 4 metros cada uma; portanto a declividade dos taludes do aterro será de 1(V):2(H). sendo que o volume de cada tronco de pirâmide será  $25818 \text{ m}^3$  perfazendo  $51636 \text{ m}^3$  cada trincheira.

**Figura 20 – Vista superior da área com aterro implantado.**



O volume total de solo movimentado será de aproximadamente 130000 m<sup>3</sup>. Esse solo será utilizado para cobertura das camadas diárias e finais do aterro sanitário, o excedente será disponibilizado para a prefeitura de Silvânia para utilização em outros locais.

### 3.9 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Existem vários métodos para se calcular a estabilidade, porém utilizaremos o método de equilíbrio limite e envoltória de Mohr-Coulomb. Para esse tipo de obra utilizaremos o fator de segurança de 1,5.

Sabemos que o peso específico para RSU adotado para este projeto foi de 8 kN/m<sup>3</sup>. Os parâmetros de resistência adotados para os cálculos foram baseados em análises bibliográficas. Para o ângulo de atrito foi definido 20° e para a coesão 10 kPa. Analisando os valores na envoltória de Mohr-Collomb descobrimos que nossos parâmetros estão dentro da área recomendada.

**Figura 21 – Faixa de parâmetros de resistência do RSU recomendados para projeto**



Fonte: Sanchez-Alciturri et al., 1993, modificado por LAMARE NETO, 2004

### 3.10 ATERRO DE PEQUENO PORTE

O aterro sanitário de Silvânia receberá todo o lixo gerado pela cidade de Silvânia e Vianópolis. Que gera cerca de 29 toneladas de resíduos. Segundo a norma NBR 15849 (ABNT,

2010) se enquadra como aterro de pequeno porte aqueles em que a geração de RSU não ultrapasse 20 ton/dia. Porém existe uma RESOLUÇÃO Nº 005/2014 – CEMAm

da secretaria estadual do meio ambiente e recursos hídricos (SEMARH) que dispensa municípios com menos de 100000 habitantes, da necessidade de realização de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental. Portanto o presente aterro será tratado como aterro sanitário de pequeno porte. O que acarreta em diversas simplificações no projeto.

Na Tabela 9 ocorre uma comparação entre as recomendações da norma NBR 15849 (ABNT, 2010), para aterro de pequeno porte e as condições disponíveis no presente caso.

**Tabela 9 – Comparação entre recomendações da norma NBR 15849 da ABNT (2010) e as condições do presente projeto**

	Recomendações NBR 15849	projeto
Permeabilidade do solo	Pouco permeável	10 <sup>3</sup> cm/s
Distância do curso de água	>200	450 m
Declividade da área	1 a 30 %	2,5%
Distância de núcleos populacionais	> 500m	2000m
Vida útil	> 15 anos	20 anos

Fonte: próprio autor, 2019.

### 3.10.1 Revestimento do fundo

A norma NBR 15849 (ABNT 2010) dispõe sobre a dispensa ou não do revestimento do fundo. Segundo alguns critérios dessa norma dependendo do tipo de solo, da permeabilidade do solo, da profundidade do lençol freático, excedente hídrico e da fração orgânica dos resíduos é possível dispensar a utilização da manta impermeável. Porém para este aterro não será feita essa análise, e será utilizada a manta impermeável PEAD de 2 mm de espessura em todas trincheiras, para garantir uma perfeita impermeabilização do aterro e não ocorrer possíveis contaminações. a manta receberá uma camada de solo para proteção de 0,5 m de espessura. A ancoragem da manta será feita por aterramento da borda da manta de todos os 4 lados, conforme a Figura 22

**Figura 22 – Exemplo de ancoragem da manta**



Fonte: GEOMINAS, 2017.

### **3.10.2 Sistemas de drenagem**

#### **3.10.2.1 Drenagem de percolado**

Antes de determinar o sistema de coleta de percolado, é necessário estimar a vazão do percolado gerado. Essa estimativa pode ser feita utilizando alguns métodos de cálculo, dentre eles será utilizado o método suíço, devido a facilidade de cálculo e a pouca quantidade de parâmetros climatológicos necessários.

Foi definido que o peso específico do RSU do aterro sanitário de Silvânia e Vianópolis será estimado em 8 kN/m<sup>3</sup>. De acordo com o método suíço entre 25 a 50 % da média anual de chuva se tornará percolado. A equação 3 para definir a vazão é:

$$Q = \frac{1}{t} P * A * K$$

Onde:

$Q$  = vazão média do lixiviado (l<sup>3</sup>/s);

$P$  = precipitação média anual (mm);

$A$  = área da trincheira (m<sup>2</sup>);

$t$  = número de segundos em um ano (s);

$K$  = coeficiente de permeabilidade do RSU, que depende do grau de compactação dos resíduos.

O coeficiente do grau de compactação pode ser obtido através da seguinte tabela 10:

**Tabela 10 – Volume dos Resíduos Sólidos**

Peso Específico dos Resíduos no Aterro	K (adimensional)
0,4 a 0,7 t/m <sup>3</sup> (pouco compactados)	0,25 a 0,5
>0,7 t/m <sup>3</sup> (bem compactados)	0,15 a 0,25

Fonte: Rocca *et al.* (1997).

Considerando o  $k = 0,25$ , a precipitação anual para a região de 1500 mm, a área da trincheira de 7722 m<sup>2</sup> e como o ano tem 31536000 segundos.

Substituindo os valores na fórmula teremos uma vazão de 0,091 l/s.

### 3.10.2.1.1 Diâmetro da drenagem do lixiviado

O sistema de drenagem pode ser feito de valas preenchidas com pedras ou britas, ou ainda com tubos perfurados, envoltos em britas pra proteger de não entrar solo no sistema. No presente projeto será adotado tubo de PVC perfurado.

Para se definir o diâmetro dos tubos, De acordo com JUNIOR (2003) pode ser calculado pela equação 4.

$$Q = A * V$$

Onde:

$Q$  = a vazão de projeto para a seção do dreno de lixiviado considerada (m<sup>3</sup>/s);

$A$  = área da seção circular (m<sup>2</sup>)  $A = \pi r^2$ ;

$V$  = velocidade de escoamento (m/s);

Ainda de acordo com o mesmo autor, a velocidade de escoamento dentro da faixa é de 1 a 5 m/s.

Calculando:

Usando a vazão estimada nos cálculos anteriores de  $0,091 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;

A velocidade de escoamento será de  $2 \text{ m/s}$  a mesma que o próprio autor usa em seus cálculos;

Achamos a área de  $4,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ;

Com a fórmula da área descrita acima encontramos o raio de  $1,20 \times 10^{-3} \text{ m}$ ;

Sabendo – se que o diâmetro é duas vezes o raio, multiplicamos o raio por 2 e em seguida por 1000, para encontrarmos o diâmetro em mm;

O resultado do diâmetro é de  $2,40 \text{ mm}$ .

Na prática adota-se um diâmetro comercial. Para esse projeto será adotado para o dreno primário da trincheira o de  $100 \text{ mm}$  e de  $50 \text{ mm}$  para o secundário, que será mais que suficiente para escoar o lixiviado.

### 3.10.2.1.2 Espaçamento entre os drenos

O espaçamento entre os drenos pode ser calculado pela equação 5:

$$Esp = 2 * Y_{max} * \sqrt{\frac{k}{perc}}$$

Onde:

$Y_{m\acute{a}x}$  = lâmina máxima de percolado;

$K$  = coeficiente de permeabilidade dos RSU;

perc = água percolada (mm);

segundo a NBR 13896 (ABNT 1997), o espaçamento entre os drenos deve ser calculado para que a altura da lâmina líquida de lixiviado não ultrapasse  $30 \text{ cm}$ .

Considerando  $k = 10^{-5} \text{ m/s}$  ou  $315360 \text{ mm/ano}$ , perc =  $600 \text{ mm}$  e  $Y_{max} = 0,3 \text{ m}$ .

Resolvendo a equação temos  $13,75 \text{ m}$

Portanto serão distribuídos 8 drenos de cada lado interligados ao dreno principal, colocados em relação à menor dimensão da trincheira, com início da parte baixa até parte alta da trincheira, com distância entre eles de  $13 \text{ m}$ .

Esses tubos de drenagem devem ser colocados até uma parte do talude, até  $\frac{1}{4}$  do talude. Nas cavas onde se colocam os drenos devem ser preenchidas com brita numa largura de  $40 \text{ cm}$  e largura de  $30 \text{ cm}$ . Para proteção dos tubos e impedir o entupimento pelo solo de proteção. (REICHERT, 2007).

**Figura 23 – Modelo de drenos de lixiviados**



Fonte: DIVINÓPOLIS, 2018.

Dos drenos internos o líquido percolado deve ser levado até um sistema de tratamento, sendo que a tubulação deve ter inclinação de 2%, essa tubulação passa pela manta PEAD por intermédio de um flange. Essa tubulação vai para um poço revestido preferencialmente de concreto e com revestimento de manta PEAD de 2mm. Sendo que o lixiviado de todas as trincheiras cheguem a este poço. (JUNIOR, 2013). (Modelo em anexos)

Para definir o diâmetro da tubulação que vai desse poço para a estação de tratamento é necessário calcular a vazão total das cinco trincheiras. Cada trincheira tem área de 7722 m<sup>2</sup> de área portanto a área total das cinco trincheiras é de 38610 m<sup>2</sup>.

Se substituirmos na equação 6, utilizando os mesmos dados usados para calcular o diâmetro dos drenos internos, alterando só o valor da área:

$$Q = \frac{1}{t} P * A * K$$

Teremos que a vazão de todas as trincheiras será de

A vazão encontrada é de 0,46 l/s.

Para o cálculo do diâmetro utilizamos os mesmos valores dos cálculos anteriores, modificando só a vazão:

$$Q = A * V$$

O diâmetro encontrado é de 5,41 mm, porém usaremos o diâmetro comercial 150 mm para que tenha um melhor escoamento e para facilitar caso ocorra alguma manutenção futura. Como o terreno tem uma declividade de 5 metros, vai ser possível levar o percolado por declividade para tratamento. Sendo possível a instalação se uma estação de tratamento do chorume na área mais baixa do terreno.

### 3.10.2.2 Drenagem do biogás

O dimensionamento do sistema de drenagem do biogás gerado, se dará de forma empírica, onde os drenos verticais variam de 50 a 100 cm de diâmetro, podendo chegar a 150 cm em aterros maiores. Normalmente são tubos de concreto, mais pode ser utilizado outros materiais, no caso deste aterro será utilizado cano de PVC perfurado de 100 mm.

São distribuídos de forma a se conectar com os drenos do lixiviado, devem ser colocados da base até a superfície final do aterro transpassando na vertical todo o maciço de RSU. Os tubos são envoltos em uma gaiola de tela preenchida com britas 3,4 e 5. Na extremidade superior dos tubos, são previstos queimadores de gases, destinado a queima dos gases diminuindo assim a poluição que esses gases causam na atmosfera. Para este aterro será utilizado gaiolas preenchidas com britas 5.

A distribuição em planta dos drenos verticais de gases é feita considerando um raio de influência de cada dreno, esse raio pode variar de 15 a 30 m. porém é prudente que quanto mais alto for o aterro menor deve ser o raio de influência adotado. Para o nosso caso como a altura final da célula será de 8 metros, então será adotado um raio de influência de 20 m.

Para se calcular a distância entre os drenos utiliza-se a equação 7:

$$x = 2 * r * \cos 30$$

Onde:

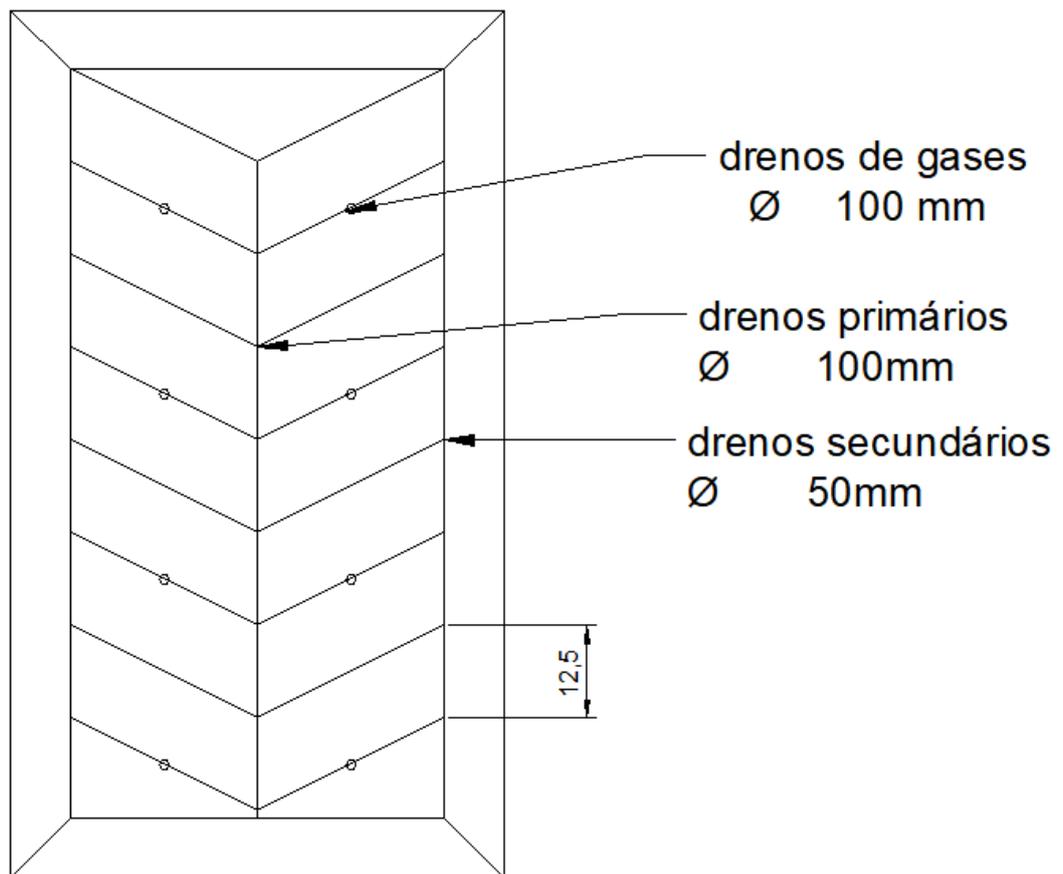
r = raio de influência adotado;

x = espaçamento entre os drenos;

Realizando o cálculo com o raio de influência adotado de 20 m obtém-se o espaçamento máximo de 35 m. portanto serão colocados 8 drenos, com 12,5 m de distância das

bordas e 25 m de distância entre eles, alocando-os em cima dos drenos de lixiviado, como mostra na figura 28:

**Figura 24 - Drenos dos gases**



Fonte: próprio autor, 2019.

### **3.10.3 Sistemas de tratamento**

#### **3.10.3.1 Tratamento do biogás**

Consistirá na instalação de um queimador no dreno de biogás, com o intuito de diminuir a carga poluidora dos gases produzidos no aterro.

O queimador será colocado ligado a todos os drenos de gases da trincheira, assim quando a mesma for preenchida, todo gás gerado passará pelo queimador. A figura seguinte mostra um modelo de queimador disponível no mercado:

**Figura 25- Queimador biogás**



Fonte: GEOMINAS, 2017.

### 3.10.3.2 Tratamento do lixiviado

Esse é um dos processos mais importantes para um aterro sanitário, pois o lixiviado gerado tem uma elevada concentração de poluentes, portanto não deve ser lançado no meio ambiente, já que o decreto nº 8,468/1976 determina que a carga orgânica que pode ser lançado nos corpos de água seja inferior a 60 mg/L.

Existem varios métodos de tratamento, mas para esse projeto será adotado o uso de lagoas anaeróbicas e facultativas.

#### 3.10.3.2.1 Lagoa anaeróbica

Antes do lixiviado chegar a lagoa anaeróbica, deve passa-lo por um gradeamento para evitar que sólidos passem pelas tubulações e ocorra entupimento das mesmas.

A lagoa será impermeabilizada com manta de PEAD de 2 mm além de uma camada de argila de no mínimo 50 cm.

Esse processo exige um lagoa com menor volume e maior profundidade. Sendo que a eficiência desse modelo de lagoa é em torno de 40 a 50% de remoção de DBO. O restante é retirada na lagoa facultativa.

A degradação anaeróbica das bactérias ocorre em 3 fases no aterro, a primeira é a fase ácida ocorre em aterros jovens de até 3 anos com DBO de 25400 mg/L, a segunda fase é a metanogênica ocorre em aterros mais velhos com DBO de 6000 mg/L, e a terceira é a fase de maturação onde as cargas de DBO diminuem para valores mínimos.

Então a lagoa anaeróbica tem de ser capaz de tratar o lixiviado no pior caso, que será quando a ultima trincheira for concluída. Para dimensionar a lagoa é preciso definir a vazão de lixiviado e a concentração de DBO, o que pode ser calculado com auxílio da equação 8:

$$L = \frac{Q * S_o}{1000}$$

Onde:

$L$  = carga afluyente de DBO (kg DBO/d);

$Q$  = vazão média (m<sup>3</sup>/d);

$S_o$  = DBO entrada (mg/L);

A vazão média calculada anteriormente é de 0,46 l/s, ou 39,740m<sup>3</sup>/dia; na fase ácida será 1 trincheira com área de 7722 m<sup>2</sup>; e na fase metanogênica serão 4 trincheiras com área de 30888 m<sup>2</sup>.

Calculando a vazão de ambas as fases pela Equação 6

$$Q = \frac{1}{t} P * A * K$$

Encontramos a vazão na fase ácida de 7,86 m<sup>3</sup>/dia, e na fase metanogênica de 31,44 m<sup>3</sup>/dia.

Substituindo as vazões e as cargas correspondentes na equação, encontramos a carga afluyente de DBO de cada fase, para a fase ácida é de 192,57 kg.DBO/dia, e para fase metanogênica é de 188,64 kg.DBO/dia. Totalizando 381,21 kg.DBO/dia.

Resolvendo a formula e isolando  $S_o$ , e substituindo o valor das duas vazões somadas e o total da carga efluente encontrada temos a DBO de entrada (efluente) de 9700 mg/l.

Para definir o volume da lagoa anaeróbica teremos que definir a taxa de aplicação volumétrica, que pode variar de 0,1 a 0,3 kg.DBO/m<sup>3</sup>.dia, ela aumenta conforme a temperatura, como a temperatura da cidade em questão é de clima tropical adotaremos 0,25 kg.DBO/m<sup>3</sup>.dia Segundo Reichert (2007) o volume pode ser calculado pela Equação 9:

$$V = \frac{L}{Lv}$$

Onde:

$V$  = volume da lagoa anaeróbia (m<sup>3</sup>);

$L$  = carga de DBO aplicada (kg DBO/d);

$Lv$  = taxa de aplicação volumétrica (kg.DBO5/m<sup>3</sup>.d).

Quando substituimos na equação os valores definidos acima obtemos o volume de 1524,84 m<sup>3</sup>, necessário para tratar o lixiviado no pior dos casos. Definimos ainda o tempo de detenção hidráulica  $t$  (em dias) que pode ser calculado pela Equação 10:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Onde:

$t$  = tempo de detenção hidráulica (dias);

$V$  = volume da lagoa (m<sup>3</sup>);

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/d).

Quando substituimos os dados de vazão de 39,3 m<sup>3</sup>/dia e do volume da lagoa de 1524,84 m<sup>3</sup> obtemos o tempo de detenção hidráulica de 38,8 dias.

Para definir o tamanho da lagoa em planta podemos adotar uma profundidade de 3 a 5 metros, e sua forma pode ser quadrada ou retangular, dependendo da área disponível, (REICHERT, 2007). Aqui utilizaremos 4 metros de profundidade.

Utilizando a Equação 11 abaixo definiremos o tamanho dessa lagoa.

$$A = \frac{V}{h}$$

Onde:

$V$  = volume da lagoa ( $m^3$ );

$h$  = altura adotada (m);

$A$  = área necessária ( $m^2$ );

Substituindo os valores de volume  $1524,84 m^3$  e a altura adotada de 4 m, encontramos  $381,21 m^2$  de área. Os taludes da lagoa terão a mesma declividade dos taludes das trincheiras 1(V):2(H). portanto a lagoa anaeróbica terá 25 m de comprimento e 15 m de largura e 4 m de altura.

A eficiência da lagoa anaeróbica na remoção de DBO é de 40 a 50%, prevendo que para este aterro a eficiência seja de 50%. De acordo com Reichert (2007) podemos calcular essa eficiência pela Equação 12:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

Onde:

$E$  = eficiência;

$S_o$  = carga afluyente de DBO (kg DBO/d);

$S$  = carga efluente de DBO mg/l.

Adotando uma eficiência de 50 % e substituindo o valor da carga de efluentes  $9700 mg/L$  e a carga afluyente  $381,21 kg DBO/dia$ , com esses valores encontramos a eficiência da carga efluente de  $4850 mg/l$ .

Como a DBO ainda está alta para ser lançada no meio ambiente será necessária uma lagoa facultativa.

### 3.10.3.2.2 Lagoa Facultativa

Segundo Reichert (2007) a DBO solúvel é estabilizada por bactérias que estão dispersas no meio líquido, e faz com que a DBO suspensa sedimente, e seja estabilizada por bactérias no fundo da lagoa. E o oxigênio exigido por essas bactérias é fornecido pelas algas através de fotossíntese. Para isso a lagoa facultativa deve possuir pequena profundidade e grande área. Iremos calcular a carga afluyente de DBO (kg DBO/dia) pela Equação 13:

$$L = \frac{Q \cdot S_o}{1000}$$

Onde:

$L$  = carga afluyente de DBO (kg DBO/d);

$Q$  = vazão média afluyente (m<sup>3</sup>/d);

$S_o$  = DBO entrada (mg/L) = (DBO efluente da lagoa anaeróbia);

Substituindo os valores de vazão 39,3 m<sup>3</sup>/dia encontrado anteriormente e o valor da DBO efluente de 4850 mg/L, a carga afluyente da lagoa facultativa será de 190,60 kg DBO/dia.

Para calcularmos a área da lagoa facultativa é utilizada a Equação 14:

$$A = \frac{L}{L_s}$$

Onde:

$A$  = área da lagoa facultativa (ha);

$L$  = carga de DBO aplicada (kg DBO/d);

$L_s$  = taxa de aplicação superficial (kg.DBO5/ha.d);

Antes de iniciarmos o cálculo é necessário definir a taxa de aplicação superficial. Reichert (2007) diz que para regiões de inverno e insolação moderados o  $L_s$  pode variar de 120 a 240 kg DBO/ha.d. definimos que será utilizado 240 kg DBO/ha.d o maior valor.

Utilizando o valor da carga afluyente de 190,60 kg DBO/dia e o valor de  $L_s$  adotado 240 kg DBO/ha.d. temos área da lagoa que será de 0,8 hectares ou 8000 m<sup>2</sup>

A profundidade ideal para promover entrada de luz na lagoa varia de 0,6 a 1,2 m isso segundo (REICHERT, 2007). Portanto adotaremos 1 m. Sendo que o volume da lagoa será de 8000 m<sup>3</sup>.

O mesmo autor ainda recomenda que as dimensões da lagoa facultativa variem de 2,5:1 a 4:1 (comprimento/largura), aqui adotaremos 3:1, assim sendo a lagoa possuirá 155 m de comprimento e 52 m de largura;

Para calcularmos o tempo de detenção hidráulica  $t$  (dias) utilizamos a Equação 15:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Onde:

$t$  = tempo de detenção hidráulica (dias);

$V$  = volume da lagoa ( $m^3$ );

$Q$  = vazão ( $m^3/d$ );

Substituímos o valor da vazão de  $39,3 m^3/dia$  e o volume da lagoa de  $8000 m^3$  e descobrimos o tempo de detenção hidráulica de 203 dias.

Segundo Reichert (2007) a Equação 16 para calcular a BDO efluente de saída é:

$$Se = \frac{So}{1 + k * t}$$

Onde:

$Se$  = DBO de saída (mg/L);

$So$  = DBO de entrada (mg/L);

$t$  = tempo de detenção hidráulica (d);

$k$  = coeficiente cinético;

Sendo que o coeficiente cinético conforme Reichert (2007) pode variar de  $0,1$  a  $0,35d^{-1}$ .  
<sup>1</sup>. Adotando  $0,35d^{-1}$ .

Utilizando os valores de DBO de entrada de  $4850 mg/L$  e o tempo de detenção hidráulica de 203 dias, temos o valor da DBO de saída de  $67,31 mg/L$ .

### 3.10.3.3 Drenagem pluvial

O sistema de drenagem (figura 32) consistirá em valetas de concreto em volta de cada trincheira, direcionando as águas das chuvas para local que não atrapalhe a operação do aterro. Após o fechamento de cada trincheira será executado uma valeta sobre a camada de terra final, sendo que essa camada vai ter uma declividade de 2% para essa valeta que ficará no meio do aterro, e dessa valeta descenderá uma de cada lado do aterro guiando as águas das chuvas que incidirem sobre o aterro evitando assim possíveis erosões. Essa valeta em cima e no talude do aterro serão executadas do tipo colchão reno (figura 30), isso se deu pelo fato de o maciço de RSU ser altamente deformável.

Esse tipo de dreno apresenta seção de 2 m e variando a espessura de 0,17 a 0,30 m, para esse projeto será adotada a espessura de 0,23 m que é a espessura comercial disponível da tela.

É importante colocar uma camada de manta PEAD embaixo do colchão reno pra que a água não entre em contato com o solo do aterro.

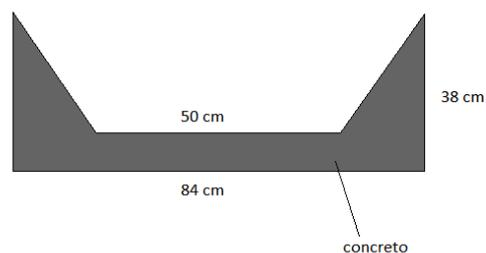
**Figura 26 – Dreno pluvial de colchão reno**



Fonte: ALIBABA, 2019.

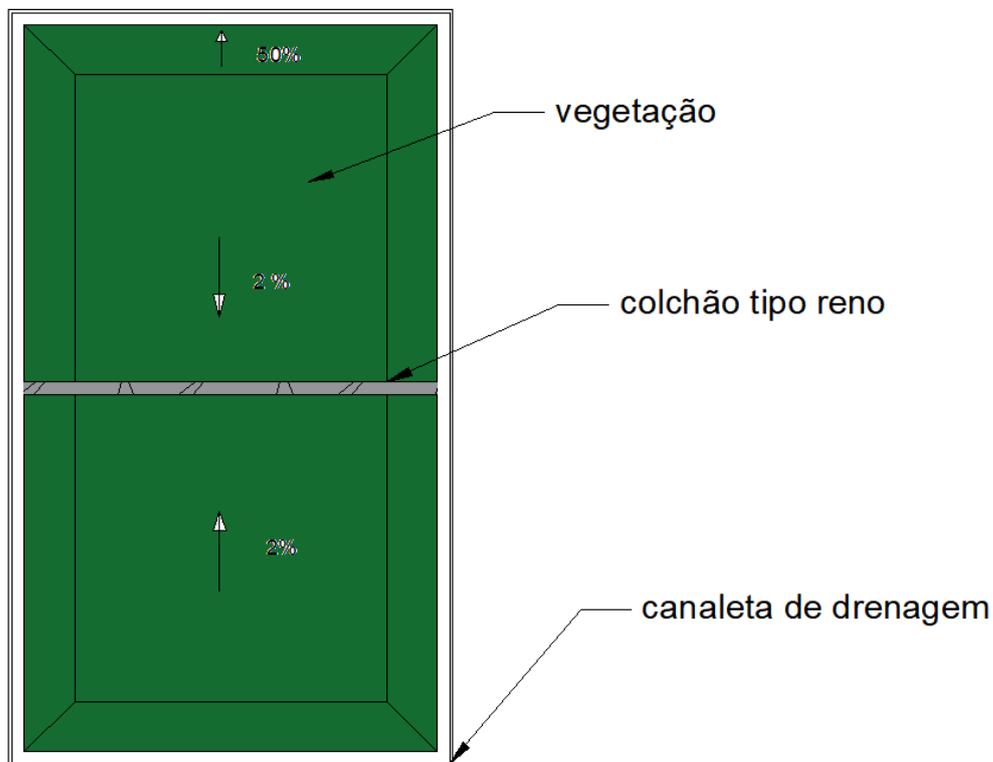
As valetas terão a mesma seção em volta de todo o aterro, e serão construídas em concreto, com largura de 0,5 m e profundidade de 0,3 m, como mostra a figura 31.

**Figura 27 – Seção da valeta**



Fonte: próprio autor, 2019

**Figura 28 – Trincheira fechada com sistemas de drenagem**



Fonte: próprio autor, 2019

### **3.10.4 Monitoramento do aterro**

Esse monitoramento é de extrema importância pois avaliará os impactos ambientais desse empreendimento ao longo do tempo, e também indica o grau de decomposição dos RSU.

#### **3.10.4.1 Monitoramento do percolado**

O monitoramento do lixiviado deverá ser realizado através de amostras retiradas dos sistemas de drenagem para analisar a qualidade e monitorar as vazões geradas. Esse monitoramento da vazão pode ser feito através dos medidores de vazão.

Esse monitoramento deve ser realizado a cada 6 meses, e mesmo após o fechamento do aterro fazer as medições durante 10 anos (ABNT, 2010).

Devem ser coletadas e analisadas as amostras nos pontos de captação do lixiviado e após o tratamento, para poder analisar a eficiência do sistema de tratamento.

Vale ressaltar que o sistema de coleta e tratamento de lixiviado deve ser contínuo mesmo após o fechamento de todo o aterro, o que garante atender as condições da legislação ambiental.

#### 3.10.4.2 Monitoramento das águas subterrâneas e superficiais

Deverá ser realizado o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e superficiais.

Será feita a análise da água da nascente que fica mais próxima do aterro, e será feita uma perfuração até o lençol freático onde será possível retirar amostras das águas subterrâneas

Deverá ser retiradas amostra em pelo menos três pontos a jusante e um a montante ao menos uma vez a cada ano, e continuar por um período de 10 anos após o fechamento do aterro sanitário.

#### 3.10.4.3 Manutenção

Deverá observar periodicamente se há fissuras, trincas ou erosões nos taludes do aterro, bem como se há o aparecimento de umidade do lixiviado nos taludes. E ainda proceder análise periódica das condições operacionais dos sistemas de drenagens (de lixiviado, das águas pluviais e dos gases) do aterro, bem como efetuar a manutenção quando necessário.

## 4 CONCLUSÃO

O aterro sanitário é uma forma de acondicionamento de resíduos sólidos, onde o impacto ambiental é bastante minimizado. Ele é construído com diversas características, que garante que os resíduos ou efluentes gerados de sua degradação, não entrem em contato com o solo ou com as águas, e por consequência os contaminem.

Neste trabalho foi apresentado as etapas para construção de um aterro fictício para as cidades de Silvânia e Vianópolis (GO). Foram levantadas as características da área do possível aterro, dados climatológicos da região e geotécnicos, e as características dos resíduos sólidos. Dessa forma foi possível calcular a geometria do aterro sanitário.

Em seguida a esses cálculos, fez-se o dimensionamento dos sistemas necessários para esse tipo de empreendimento. Tais como sistemas de proteção e drenagens e tratamentos. O aterro em questão foi definido como aterro de pequeno porte, de acordo com decreto nº 005 da SEMARH (2014), que o enquadra como de aterro pequeno porte cidades com menos de 100000 habitantes.

O sistema de proteção é formado por solo argiloso e manta PEAD e coberturas de solo. E para dimensionar o sistema de percolado foi utilizado o método suíço de estimativa de percolado. Já a drenagem de gás foi feita de forma empírica pois é para aterro de pequeno porte e ser difícil obter dados de geração.

No sistema de drenagem pluvial foram adotados dois tipos de guia de águas, colchão reno nos taludes e sobre a trincheira depois de finalizada e valetas de concreto ao redor das trincheiras.

E por fim descreve os processos de monitoramento do aterro, isso deve ocorrer mesmo depois de encerrar esse aterro. A ABNT (2010) recomenda que se continue monitorando o aterro a pelo menos 10 anos após seu fechamento.

Esse trabalho evidenciou a importância de se dar destinos corretos aos resíduos sólidos, para não haver prejuízos ao meio ambiente e a população. Aterro sanitário é uma obra de engenharia e como tal exige um detalhado planejamento e uma perfeita operação, uma vez que há um alto valor investido nele.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001. NBR6484: Solo – **Sondagens de Simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio**. 2001.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004. NBR10004: **Resíduos Sólidos – Classificação**. 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010. NBR15849: **Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. 2010.
- ABRELPE – Associação Brasileira de empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil 2016**. 1ª ed. São Paulo. 2016.
- ALVES, M. C. M., 2015, **Notas de Aula – Geotecnia Ambiental**, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ALVES, M. C. M.; BELTRÃO, K.G.Q.B.; JUCÁ, J.F.T. **Resíduos Sólidos: Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: Guia do profissional em treinamento: Nível 2**, Salvador, ReCESA:2008.
- Arlindo Philippi Jr., Marcelo de Andrade Roméro, Gilda Collet Bruna, editores. **Curso de gestão ambiental** – Barueri, SP : Manole, 2004
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. 1ª edição, São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2008.
- BOWDERS, J. J.; BOUAZZA A.; LOEHR J. E.; RUSSELL, M., 2000, **Settlement of municipal solid waste landfills**. In: Kansai Int’l Geotechnical Forum, 4, Kyoto, Japan.
- CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CEMPRE. **Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado**. 3ª edição, São Paulo, 2008. Dicionário on-line disponível em <<http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/residuo/>> acessado em 25 mai 2018
- FELDKIRCHER, W. **Impermeabilização de aterro sanitário com geomembrana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade de São Francisco. Itatiba, 2008.

- FILHO, Luiz Fernandes de Brito. **Estudo de gases em aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento: Orientações técnicas**. 4 ed. Brasília: Acessoria de comunicação e educação em saúde, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 18 set. 2019.
- JUNIOR, A. B. de C. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável Para Municípios de Pequeno Porte**. 1º. ed. Rio de Janeiro: ABES RiMa, 2003.
- LAMARE NETO, A. Resistência ao Cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos e de Materiais Granulares com Fibras. 2004. Tese (Doutorado) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- LANGE, L. C et al. **Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008.
- LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biomerremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004.
- LING, H.I.; LESHCHINSKY, D.; MOHRI, Y. E.; KAWABATA, T., 1998, **Estimation of municipal solid waste landfill settlement**. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, pp. 21-28.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em<<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>Acesso em: 03 set. 2019.
- MOTTA, E. Q. **Avaliação da Resistência ao Cisalhamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Codisposição de Lodo de Tratamento de Esgoto através de Ensaios de Cisalhamento Direto de Grandes Dimensões**. 2010. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2010.
- REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Manual** 2007. 117 p. Disponível em: <<http://documentslide.com/documents/manual-aterro-sanitario-2007-geraldo-reichertpdf.html>>. Acesso em: 08 mai. 2018.
- Rocca ACC. **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo: Cetesb; 1993
- SANTOS, B. T. **Estudo sobre a Estabilidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2012. TCC (Graduação) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro– UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.
- Silva, Karine Trajano **Projeto de um Aterro Sanitário de Pequeno Porte** / Karine Trajano da Silva – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016. IV, 81 p

SOUZA PINTO, Carlos. **Curso Básico de Mecânica do Solos**. 3º ed. São Paulo – SP. 2006.

[www.ebah.com.br/content/ABAAe900AD/2-4-incineracao-2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAe900AD/2-4-incineracao-2) acessado em 12 agosto de 2018.

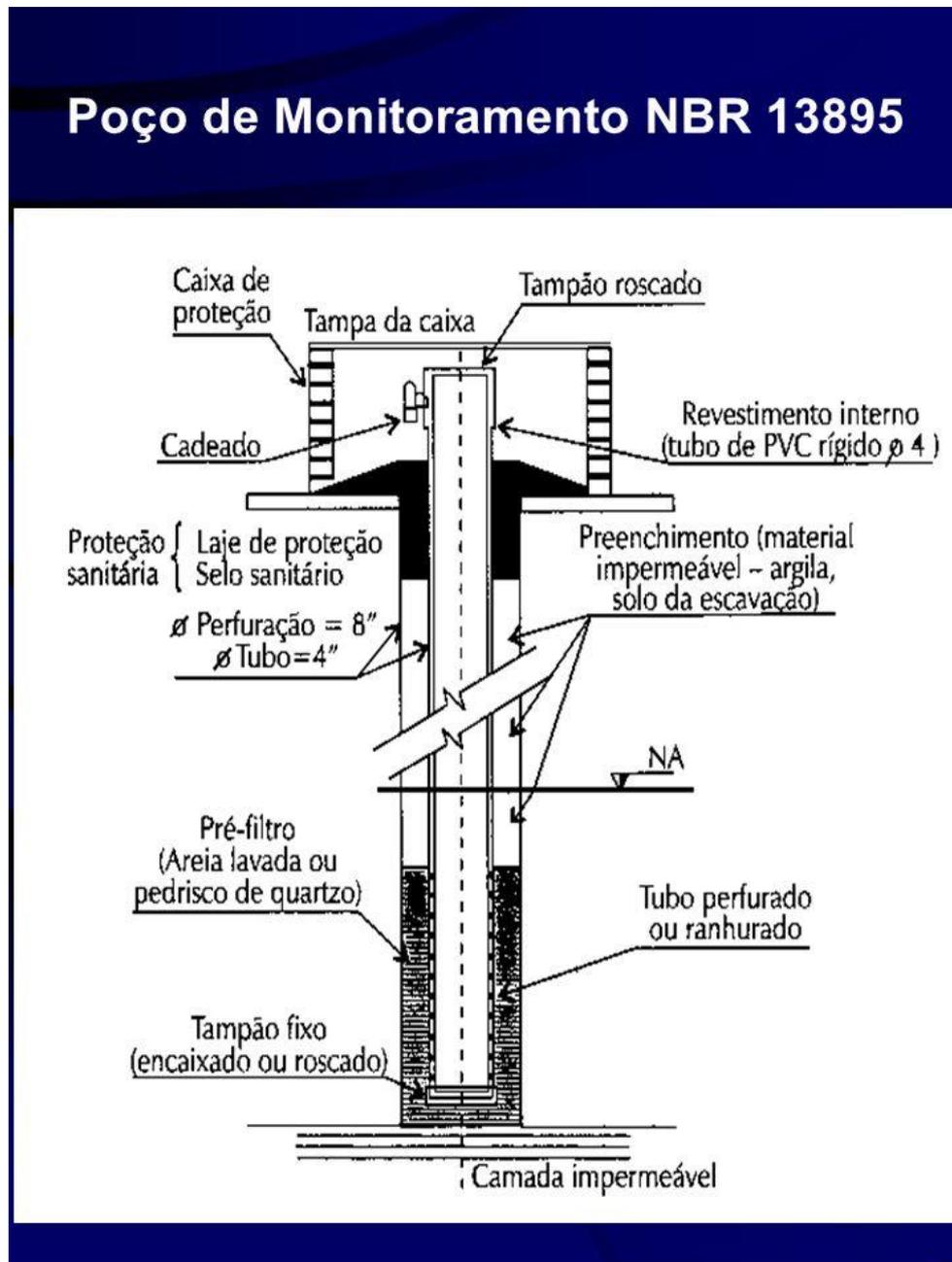
[www.residuossolidos.al.gov.br/sistemas/aterro-sanitario](http://www.residuossolidos.al.gov.br/sistemas/aterro-sanitario) acessado em 20 de agosto de 2019.

[jornaldosaneamento.hol.es/residuos/projeto-de-implantacao-do-aterro-sanitario-de-tucurui/](http://jornaldosaneamento.hol.es/residuos/projeto-de-implantacao-do-aterro-sanitario-de-tucurui/) acessado em 15 de setembro de 2019.

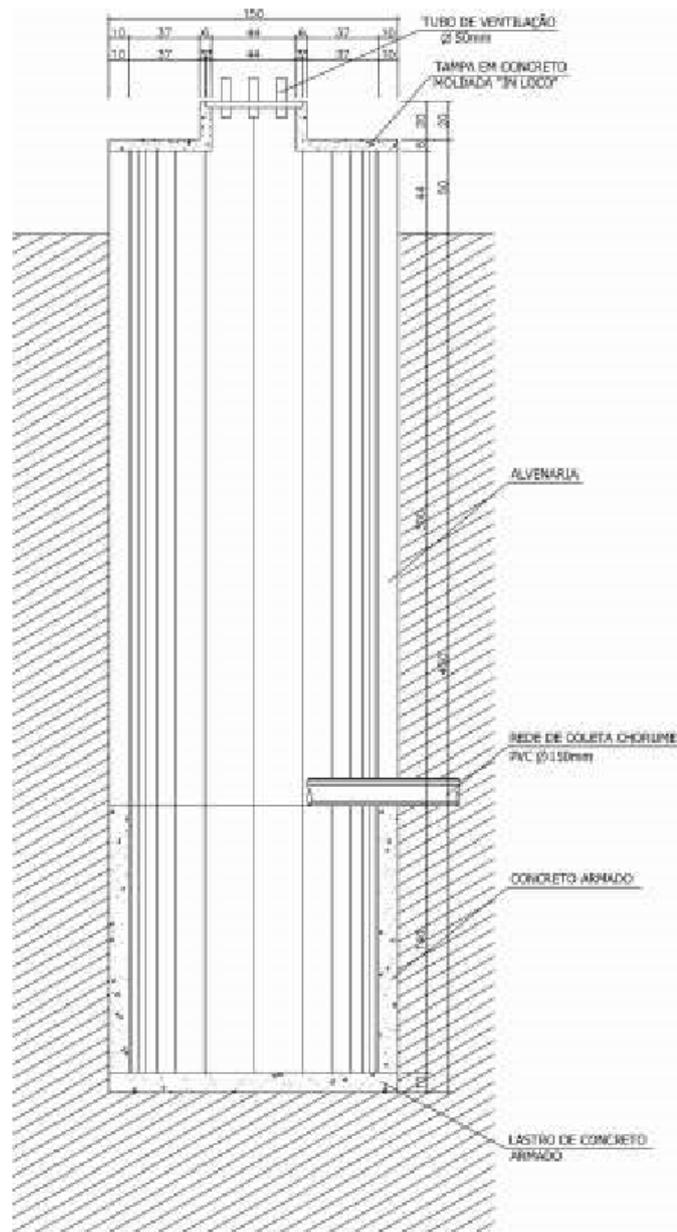
[www.amvapmg.org.br/1/monte-carmelo-investe-na-modernizacao-do-aterro-sanitario/](http://www.amvapmg.org.br/1/monte-carmelo-investe-na-modernizacao-do-aterro-sanitario/) acessado em 20 de setembro de 2019.

[www.jaboticabal.sp.gov.br/2010/index.php/noticia/visualizar/projetos-garantem-aumento-de-vida-util-do-aterro-sanitario](http://www.jaboticabal.sp.gov.br/2010/index.php/noticia/visualizar/projetos-garantem-aumento-de-vida-util-do-aterro-sanitario) acessado em 17 de setembro de 2019.

## ANEXO A - MODELO DE POÇO DE MONITORAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/289244/>

**ANEXO B - MODELO DE POÇO DE PASSAGEM**

Fonte: manual para implantação de aterro sanitário em valas