

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ADRIELLE DE PAULA SANTOS**

**ELIANE APARECIDA SILVA**

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA AS CIDADES DE  
JARAGUÁ, JESÚPOLIS E SÃO FRANCISCO DE GOIÁS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**ADRIELLE DE PAULA SANTOS**

**ELIANE APARECIDA SILVA**

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA AS CIDADES DE  
JARAGUÁ, JESÚPOLIS E SÃO FRANCISCO DE GOIÁS**

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

**ORIENTADOR: MSC FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, ADRIELLE DE PAULA/ SILVA, ELIANE APARECIDA

Análise e Dimensionamento para implantação de um Aterro Sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás

92P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Resíduos Sólidos

2. Aterro Sanitário

3. Destinação

4. Dimensionamento

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, Adrielle de Paula; SILVA, Eliane Aparecida. Análise e Dimensionamento para implantação de um Aterro Sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 92p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Adrielle de Paula Santos

Eliane Aparecida Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise e Dimensionamento para implantação de um Aterro Sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

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.



Adrielle de Paula Santos

E-mail: adrielledepaula165@hotmail.com



Eliane Aparecida Silva

E-mail: eliane.mikely@hotmail.com

**ADRIELLE DE PAULA SANTOS**

**ELIANE APARECIDA SILVA**

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA AS CIDADES DE  
JARAGUÁ, JESÚPOLIS E SÃO FRANCISCO DE GOIÁS**

**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:**



**FABRÍCIO NASCIMENTO SILVA, Mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**



**RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**HAYDEE LISBOA VIEIRA MACHADO, Mestra (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 29 de Novembro de 2018.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois ele sempre me deu força e coragem para prosseguir mais essa etapa da minha vida, permanecendo com fé e determinação.

A minha família por sempre me apoiarem com carinho e amor, sempre me incentivando a nunca desistir dos meus sonhos e da minha capacidade de ser uma pessoa melhor. Obrigado por sempre estarem do meu lado ajudando em todas as minhas escolhas sem medirem esforços e por tantas felicidades que me proporcionam todos os dias e ao meu esposo pelo apoio e companheirismo.

Aos meus amigos de curso por me ajudar a dividir tantos momentos alegres e difíceis durante essa etapa da minha vida, vocês sempre estarão em meu coração.

Ao professor Fabrício Nascimento Silva por ser orientador do nosso trabalho, nos ajudando e transmitindo os seus conhecimentos para concluirmos com êxito. E aos outros professores por nos proporcionar conhecimentos.

Adrielle de Paula Santos

## **RESUMO**

Um dos grandes desafios enfrentados pelas cidades brasileiras é o descarte inadequado dos resíduos sólidos, pois, a destinação incorreta desses resíduos podem gerar graves consequências para o meio ambiente além de riscos para a saúde da população. Os tipos de descartes de resíduos mais comuns são os aterros controlados, os lixões, os aterros sanitários e as incinerações. O aterro sanitário é a forma mais correta e eficaz de descartar os resíduos, pois não causa danos à saúde pública e minimiza os impactos ambientais com sistema de drenagem que tratam o lixiviado e o biogás. Com o objetivo de encontrar soluções para os problemas de saneamento básico enfrentados pelo país, vem sendo realizado desde 2007 uma série de ações que culminaram com a criação da lei nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e com a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico. Uma das ações propostas por essa lei é a redução de resíduos gerados e a eliminação e recuperação dos lixões. Com essa iniciativa, os municípios precisam buscar alternativas para se adequarem pois, embora o prazo para cumprimento das metas estabelecidas tenha sido prorrogado, a grande maioria dos municípios brasileiros ainda tem um longo caminho a percorrer para se adequarem as exigências da lei. O presente trabalho faz uma análise da atual situação do descarte do lixo nas cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás, todas localizadas no estado de Goiás, propõe a criação de um aterro sanitário que atenda a demanda dessas cidades, diminuindo assim os diversos problemas causados pelos lixões existentes.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Resíduos Sólidos. Aterro Sanitário. Destinação. Dimensionamento.

## **ABSTRACT**

In order to lessen the chances of losing lives, weight loss can become a risk factor for the health of the population. The most common types of discards are controlled landfills, landfills, landfills, and incinerations. Landfill is a more efficient and effective way to dispose of waste, but it does not cause public health and minimizes environmental impact with the leachate treatment system and biogas. With the objective of finding solutions to the problems of basic sanitation faced by the country, a series of actions have been carried out since 2007, culminating in the creation of Law No. 12,305 / 2010, which instituted a National Policy on Solid Waste, with a National Plan for Basic Sanitation. One of the law initiatives is the reduction of waste generated and eliminated and the recovery of the dumps. With this initiative, plans must seek alternatives to suit, although the deadline for achieving goals is successful, the vast majority of values still have a long way to go to fit the requirements of the law. This paper presents a description of the current garbage situation in the cities of Jaraguá, Jesópolis and São Francisco de Goiás, all areas of the State of Goiás, proposes the creation of a sanitary landfill that meets a demand of these cities, thus reducing their problems caused by existing dumps

### **KEYWORDS:**

SolidWaste.Sanitary landfill. Destination. Sizing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aterro Sanitário Método da Trincheira.....	28
Figura 2 - Aterro Sanitário Método da Rampa.....	29
Figura 3 - Aterro Sanitário Método da Área.....	30
Figura 4 – Posição do local em relação as tres cidades.....	33
Figura 5 - Local Escolhido para o Aterro Sanitário.....	34
Figura 6 - Dreno com tubulação.....	39
Figura 7 - Esquema de montagem de dreno cego.....	40
Figura 8 - Redes de Drenagem (Espinhas de Peixe).....	40
Figura 9 - Sistema de Drenagem de Gases.....	41
Figura 10 - Estrutura da tubulação de drenagem de gases.....	42
Figura 11 - Detalhe de queimador de gás.....	42
Figura 12 - Sistema de drenagem de águas pluviais.....	43
Figura 13 - Sistemas de impermeabilização inferior (simples, composto e duplo).....	51
Figura 14 - Sistema de impermeabilização inferior.....	52
Figura 15 - Sistema de ancoragem.....	52
Figura 16 - Componentes básicos de sistema de cobertura final.....	53
Figura 17 - Desenho esquemático da trincheira e com suas respectivas dimensões.....	59
Figura 18 - Desenho esquemático da disposição das trincheiras.....	60
Figura 19 - Esquema de drenagem do lixiviado.....	64
Figura 20 - Posição dos drenos de lixiviado.....	65
Figura 21 - Posição dos drenos de lixiviado.....	67
Figura 22 - Distribuição triangular equidistante para drenos verticais de gás.....	68
Figura 23 – Posição dos drenos verticais de gás.....	69
Figura 24 - Queimador biogás.....	70
Figura 25 - Lagoa Anaeróbia.....	74
Figura 26 - Lagoa Facultativa.....	77
Figura 27 - Disposição dos drenos de águas pluviais.....	79
Figura 28 - Representação das bacias de contribuição.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Total de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços em Goiás.....	20
Tabela 2 - Volume total de resíduos sólidos coletados, segundo as grandes regiões.....	23
Tabela 3 - Sistemas de drenagem de lixiviado .....	38
Tabela 4 - População das cidades de Jaraguá, Jesópolis e São Francisco.....	54
Tabela 5 - Volume dos Resíduos Sólidos.....	56
Tabela 6 – Volume dos Resíduos Sólidos .....	62
Tabela 7 - Valores do coeficiente de escoamento superficial .....	81
Tabela 8 -Estimativa da vazão máxima de cada sub-bacia .....	82
Tabela 9 - Coeficiente de rugosidade por material.....	83
Tabela 10 -Raio Hidráulico para seção trapezoidal e retangular.....	84
Tabela 11 - Velocidades máximas por tipo de superfície.....	84
Tabela 12 -Definição das dimensões das canaletas de drenagem por interação .....	85
Tabela 13 -Definição das dimensões definitivas das canaletas .....	86

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Municípios que fazem destinação de resíduos sólidos em aterros controlados, por grandes regiões .....	25
Gráfico 2 - Municípios que fazem destinação de resíduos sólidos em aterros sanitários, por grandes regiões .....	26

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIDERSP	Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região São Patrício
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
1.3 METODOLOGIA .....	14
<b>2 CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO SÃO PATRÍCIO – GO (CIDERSP-GO) .....</b>	<b>16</b>
<b>3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>17</b>
<b>4 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 ACONDICIONAMENTO E ARMAZENAMENTO .....	19
4.2 COLETA E TRANSPORTE .....	19
<b>5 TRATAMENTO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>21</b>
5.1 TRIAGEM.....	21
5.2 RECICLAGEM .....	21
5.3 COMPOSTAGEM .....	22
5.4 INCINERAÇÃO.....	22
<b>6 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>23</b>
6.1 LIXÃO OU VAZADOURO.....	23
6.2 ATERRO CONTROLADO.....	24
6.3 ATERRO SANITÁRIO.....	25
<b>7 MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>27</b>
7.1 MÉTODO DA TRINCHEIRA OU VALA .....	27
7.2 MÉTODO DA RAMPA .....	28
7.3 MÉTODO DA ÁREA .....	30
<b>8 ASPECTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO.....</b>	<b>31</b>
8.1 ÁREA .....	31
8.2 SISTEMA DE DRENAGEM .....	34
8.3 IMPERMEABILIZAÇÃO .....	35
8.4 TRATAMENTO DO BIOGÁS .....	36

8.5 TRATAMENTO DO CHORUME.....	37
8.6 SISTEMA DE DRENAGEM .....	37
<b>8.6.1 Drenagem de líquidos percolados .....</b>	<b>38</b>
<b>8.6.2 Drenagem de gases .....</b>	<b>41</b>
<b>8.6.3 Drenagem de águas pluviais .....</b>	<b>43</b>
<b>9 ESTRUTURAS E COMPONENTES DO ATERRO SANITÁRIO .....</b>	<b>44</b>
9.1 INFRAESTRUTURA BÁSICA.....	44
<b>9.1.1 Portaria.....</b>	<b>44</b>
<b>9.1.2 Balança .....</b>	<b>44</b>
<b>9.1.3 Sinalização.....</b>	<b>44</b>
<b>9.1.4 Isolamento e Cinturão Verde .....</b>	<b>44</b>
<b>9.1.5 Acessos .....</b>	<b>44</b>
<b>9.1.6 Iluminação e Comunicação.....</b>	<b>46</b>
<b>9.1.7 Abastecimento de Água.....</b>	<b>45</b>
<b>9.1.8 Instalações de Apoio Operacional.....</b>	<b>45</b>
<b>9.1.9 Instrumentos e Monitoramento.....</b>	<b>45</b>
9.2 ROTINA OPERACIONAL DO ATERRO .....	45
<b>9.2.1 Recebimento dos resíduos .....</b>	<b>46</b>
<b>9.2.2 Tipos de resíduos que podem ser recebidos no aterro .....</b>	<b>46</b>
<b>9.2.3 Equipamentos, mão de obra e insumos necessários .....</b>	<b>46</b>
<b>9.2.4 Disposição e descarga dos resíduos .....</b>	<b>47</b>
<b>9.2.5 Espalhamento e compactação dos resíduos.....</b>	<b>48</b>
<b>9.2.6 Recobrimento dos resíduos .....</b>	<b>48</b>
<b>10 DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO.....</b>	<b>50</b>
10.1 IMPERMEABILIZAÇÃO.....	50
<b>10.1.1 Impermeabilização da Base e Lateral.....</b>	<b>50</b>
<b>10.1.2 Impermeabilização Superior .....</b>	<b>52</b>
10.2 POPULAÇÃO .....	53
10.3 VOLUME DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	55
10.4 CÁLCULO DAS TRINCHEIRAS .....	57
<b>10.4.1 Posicionamento das Trincheiras no Aterro.....</b>	<b>59</b>
10.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM.....	61
<b>10.5.1 Drenagem do Lixiviado .....</b>	<b>61</b>
<b>10.5.1.1 Cálculo da Vazão do Lixiviado .....</b>	<b>61</b>

10.5.1.2 Cálculo para os Drenos (tubos) do Lixiviado.....	62
10.5.1.3 Espaçamento para os Drenos (tubos) Internos do Lixiviado.....	63
<b>10.5.2 Drenagem do Biogás.....</b>	<b>67</b>
10.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENO .....	69
<b>10.6.1 Tratamento do Biogás .....</b>	<b>69</b>
<b>10.6.2 Tratamento do Lixiviado .....</b>	<b>70</b>
10.6.2.1 Lagoa Anaeróbia.....	71
10.6.2.2 Lagoa Facultativa .....	75
10.7 SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	78
<b>10.7.1 Dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais .....</b>	<b>79</b>
10.7.1.1 Cálculo da vazão de projeto .....	80
10.7.1.2 Dimensionamento do canal de drenagem.....	83
<b>11 CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O descarte incorreto dos resíduos sólidos não é um problema recente, porém, ainda é um dos maiores problemas enfrentados pela população quando se fala de saneamento básico e meio ambiente, sobretudo, nas cidades em desenvolvimento tecnológico e com crescimento populacional, onde o aumento do consumo de mercadorias eleva a quantidade de lixo produzido. Esses resíduos quando eliminados inadequadamente trazem poluição, contaminação do solo, desperdícios de materiais recicláveis, acarretando danos ao meio ambiente e a saúde pública.

Embora o problema seja antigo, ainda é um grande desafio para o poder público implantar políticas que sejam eficazes para a correta destinação dos resíduos sólidos urbanos, essa dificuldade deve-se ao grande aumento da produção de lixo nos centros urbanos e do alto custo de implantação e manutenção de sistemas eficazes de coleta e destinação final desses resíduos. O serviço de coleta e afastamento dos resíduos quando executado com eficiência cria a sensação de mágica na população, fazendo com que a sociedade não perceba a grave situação em que muitas cidades se encontram ao realizarem de forma inadequada o descarte de dejetos (PHILIPPI, 2010).

Dentre as formas mais conhecidas de descarte, o lixão a céu aberto se destaca como uma das mais prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Nesse tipo de descarte os resíduos são lançados diretamente no solo sem qualquer cuidado técnico ou proteção prévia, o que acarreta diversos problemas, como a contaminação dos lençóis freáticos e cursos d'água, a proliferação de insetos e roedores, muitos dos quais transmissores de doenças, além de maus odores e poluição visual.

Muitos estudos e pesquisas vem sendo realizados nos últimos anos com o objetivo de elaborar soluções para o correto descarte dos resíduos sólidos, levando a criação de leis e programas sociais de saneamento básico, dentre elas, a lei 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para a política federal de saneamento básico e visa o fornecimento de água potável, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas.

Dentre as leis criadas para sanar o problema, a lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) deram um salto importante em busca de uma forma mais sustentável de descarte do lixo,

apresentando soluções e estabelecendo metas a serem cumpridas tanto à nível nacional e estadual, quanto municipal.

Embora haja metas com prazos para serem cumpridos, muitas cidades brasileiras ainda não conseguem se adequar as novas exigências, como é o caso dos municípios de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco, situados no estado de Goiás, essas cidades foram escolhidas como objeto de estudo deste trabalho porque a gestão dos resíduos sólidos nestes municípios limita-se a coleta do lixo com sua disposição final a céu aberto.

A gestão adotada por esses municípios traz muitos problemas a população, como desvalorização das áreas próximas ao lixão, atração de doenças, contaminação do solo, do ar e das águas subterrâneas e superficiais pela geração de chorume e propagação de gases tóxicos resultantes da decomposição dos dejetos. Além disso, existem catadores que trabalham em condições precárias, sem a utilização de qualquer equipamento de segurança, deixando-os expostos a vários tipos de doenças.

O aterro sanitário consiste na utilização de princípios para confinamentos dos resíduos sólidos em camadas, cobertos de material inerte com normas operacionais específicas. Com isto são evitados danos a saúde pública, a segurança, ao meio ambiente, pois reduz o impacto com o solo e ploriferação de doenças. O lixo é compactado e coberto, prolongando a vida útil do aterro (PACHECO et al. 2012).

A questão do aterro sanitário é um problema que envolve questões de interesse coletivo, profundamente influenciado por interesses econômicos, manifestações da sociedade, aspectos culturais e conflitos políticos. Tem-se incorporado novos elementos notando avanços significativos gerando mais espaço em pesquisas, na mídia e em discussões políticas associados a importância da implantação do mesmo (PHILIPPI, 2010).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O descarte dos resíduos sólidos em grande parte dos municípios Brasileiros vem sendo feito de forma inadequada e nas cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás, cidades situadas no vale do São Patrício, a situação não é diferente. Na cidade de Jaraguá, o tema já é pauta de reuniões há alguns anos, mas ainda hoje o descarte no lixo acontece em um lixão a céu aberto localizado as margens da BR-153. Os problemas causados pelo mau cheiro e pela fumaça causada pela queima do lixo tem sido motivo de preocupação não só para a administração da

cidade, mas para toda população e tem sido notícia de jornais locais há algum tempo. A prefeitura tem estudado maneiras de resolver o problema do manejo dos resíduos sólidos, e a construção do aterro sanitário se apresenta como a mais viável e eficaz para solução do problema. Com base nisso, o presente trabalho tem por finalidade fornecer diretrizes para a elaboração de um projeto de implantação de aterro sanitário que atenda além do município de Jaraguá, os municípios vizinhos de Jesúpolis e São Francisco de Goiás.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar e dimensionar um aterro sanitário para que seja implantado e que atenda os municípios de Jaraguá, São Francisco de Goiás e Jesúpolis. Ressaltando os benefícios gerados pela construção do mesmo para as cidades envolvidas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a atual situação do manejo dos resíduos sólidos na cidade de Jaraguá;
- Explicar a importância do aterro sanitário e os tipos de aterros existentes;
- Explicar os pré-requisitos necessários para construção do aterro sanitário;
- Dimensionar um aterro sanitário que atenda as cidades de Jaraguá, São Francisco de Goiás e Jesúpolis.

## 1.3 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido com pesquisa descritiva, por fontes bibliográficas e resultados qualitativos. O presente apresentará um dimensionamento de aterro sanitário em trincheiras para a cidade de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos lei nº 12.305/2010. Para seu melhor desenvolvimento serão utilizadas fontes como ABNT, monografias, livros, internet.

Estas cidades foram escolhidas para o dimensionamento do aterro sanitário por realizarem o descarte de resíduos sólidos de forma incorreta, com disposição final em um

vazadouro, provocando vários problemas para a população e a degradação indiscriminada da natureza. Para definição da metodologia deste trabalho foi utilizado o levantamento de dados e pesquisas sobre a atual situação do descarte dos resíduos e os problemas causados pelo mesmo para que sejam resolvidos.

## **2 CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO SÃO PATRÍCIO – GOIÁS (CIDERSP-GO)**

O CIDERSP-GO é um consórcio criado em 2013 com o objetivo de planejar, executar e gerir serviços públicos de saneamento, manejo dos resíduos sólidos além da drenagem e manejo das águas pluviais nos municípios consorciados.

Dentre as atribuições do CIDERSP-GO, está o planejamento e execução de aterros sanitários para as cidades membros do consórcio. Desde a sua criação, muitos estudos foram feitos com o objetivo de atender as exigências da lei 12.305/2010 quanto aos prazos para fechamento dos lixões e construção de aterros sanitários como alternativa de descarte dos resíduos sólidos urbanos, e com base no que foi analisado, as cidades que fazem parte do consórcio decidiram pela construção de aterros compartilhados, obedecendo sempre as exigências legais quanto a construção e a viabilidade técnica e financeira.

Essa resolução se deu devido ao fato das cidades integrantes do projeto serem de pequeno porte, não havendo assim a necessidade de aterros individuais, e devido ao custo de construção e manutenção de um aterro sanitário serem muito altos, embora seja considerado o mais econômico dentre alternativas de descarte sustentável. Dessa forma, além de atender as necessidades de mais de uma cidade, os custos serão rateados tornando o projeto mais viável aos cofres públicos.

Foi nesse contexto que as cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás decidiram unir suas forças para alcançar um objetivo em comum: a construção de um aterro sanitário e a desativação de seus lixões. A decisão de se unirem se deu principalmente devido a proximidade entre as cidades, tornando o projeto viável e vantajoso.

Segundo o IBGE (2010) a cidade de Jaraguá possui 41.870 habitantes, com área territorial de 1.849,552 km<sup>2</sup>, Jesúpolis com 2.300 habitantes e área territorial de 122.475 km<sup>2</sup>, São Francisco de Goiás possui 6.120 habitantes com área territorial de 415.791 km<sup>2</sup>.

De acordo com a Secretaria do Meio Ambiente da cidade de Jaraguá, o projeto de construção do aterro para as três cidades está em fase de negociação da área escolhida, que deve obedecer todas as exigências da NBR 8419 (1996).

### 3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A produção de resíduos sólidos nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável, que ocorre diariamente em quantidades e composições diferentes que dependem do tamanho da população e de seu desenvolvimento econômico. Os sistemas de limpeza urbana de competência municipal devem eliminar os resíduos e proporcionar-lhes um destino ambiental e sanitário adequado.

A geração de resíduos sólidos é resultado dos padrões de consumo, dos reflexos do modo de vida da sociedade e das atividades econômicas realizadas. Estudos demonstram que a quantidade de resíduos sólidos gerados por habitante é maior nas grandes cidades e também em cidades ou países mais desenvolvidos. Isso se deve a maior circulação de mercadorias, ao maior consumo de embalagens descartáveis, a rápida obsolescência de objetos e equipamentos. Isso diminui a presença de materiais orgânicos, como cascas de frutas e legumes.

De acordo com (PHILIPPI, 2010), alguns dos principais fatores que influenciam a alta produção de resíduos são:

- As necessidades artificiais geradas pelos ciclos dos modismos;
- O avanço e obsolescência cada vez mais rápidos devido as novidades tecnológicas;
- A poluição de informação que gera a necessidade de embalagens cada vez maiores e mais chamativas para o consumo dos produtos;
- O estilo de vida que tem como modelo o consumo de alimentos superprocessados.

Segundo a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) pela Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10.004 (2004), resíduos nos estados sólidos e semissólidos, resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. A norma técnica estabelece três categorias em duas classes dos resíduos de acordo com sua periculosidade:

- Classe I - Resíduos Perigosos: Têm características que trazem riscos graves ao meio ambiente e a saúde pública. Podem ser tóxicos, corrosivos, radioativos, patogênicos, inflamáveis.
- Classe II - Resíduos Não Inertes: Não apresentam características de periculosidade. Incluem nessa categoria os resíduos domiciliares e outros combustíveis ou biodegradáveis como madeira, papel, plantas.
- Classe II - Resíduos Inertes: São despejados em aterros sanitários ou reciclados, pois não apresentam algumas características de periculosidade ou alguma alteração em sua composição com o tempo, apresentando características como solubilidade em água. São exemplos de resíduos inertes os entulhos, aços e ferros.

## **4 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **4.1 ACONDICIONAMENTO E ARMAZENAMENTO**

Independentemente de sua origem os resíduos devem passar por uma série de operações para que tenham manejo e destinos ambientais e sanitários adequados.

Foi realizada uma pesquisa nacional de saneamento básico pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008), onde verificou-se que são recolhidas no Brasil cerca de 180 mil toneladas diárias de resíduos sólidos. O rejeito é resultado de atividades de origem urbana, e muitas vezes quando realizada a separação dos resíduos como plástico, vidro e papel são eventualmente utilizadas como matérias primas na produção de outros bens ou fonte de energia.

O acondicionamento correto colabora para evitar a proliferação de vetores, a ocorrência de odores e problemas com a estética do local, estando relacionados ao bem estar da população, sendo a mesma, responsável por essa etapa. Os benefícios da separação do lixo doméstico são grandes, além de aliviar os aterros sanitários, se forem despejados apenas resíduos que não podem ser reciclados o volume do aterro diminui, muitos dos resíduos sólidos produzidos em casa podem ser reaproveitados. A reciclagem e a reutilização contribuem para a natureza e fornecem renda para catadores de lixo, que dependem dos resíduos sólidos para sustentar suas famílias (PHILIPPI, 2010).

A maneira que é realizado o acondicionamento deve obedecer a normas específicas, tais como tipo de embalagem, separação do resíduo por tipo de material, horário de colocação na calçada, nos locais onde não é possível o acesso do veículo de coleta é necessário colocar lixeiras coletivas em pontos estratégicos. Na maioria dos casos é necessário armazenar o lixo em um local distinto exigindo instalações físicas específicas para cada tipo de resíduo, em especial em indústrias, nos comércios de grande porte e nos estabelecimentos de saúde (PHILIPPI, 2010).

### **4.2 COLETA E TRANSPORTE**

Nos centros urbanos é comum a municipalidade encarregar-se da coleta de lixo domiciliar, devendo ser feita com frequência adequada levando em conta que o acúmulo excessivo de resíduos podem aumentar os riscos ao meio ambiente e a saúde pública, e que a

frequência excessiva eleva o custo. O planejamento e a administração da coleta envolvem características importantes que devem ser consideradas, entre elas o ponto, horário e a forma de coleta. Essas características tem como objetivo causar menor incômodo possível para a população e ser ambientalmente e economicamente adequada (PACHECO et al., 2012).

A coleta pode ser feita de forma unificada ou com segregação de materiais. A coleta unificada tem a vantagem de ser mais barata e mais simples de gerenciar, por isso é mais comum no Brasil.

Em cidades ou países mais desenvolvidos são disponibilizados o serviço de coleta seletiva, em que é caracterizada pela separação dos materiais na fonte pela população com posterior coleta e envio a usinas de triagem, cooperativas, sucateiros, beneficiadores ou recicladores. A implementação da coleta seletiva constitui a principal ação para o desenvolvimento da reciclagem e reutilização, do qual se podem recuperar diversos produtos, como papel, metais, vidro e plástico.

O transporte dos resíduos das áreas geradoras para as instalações de tratamento ou destinação final é realizado em geral nos mesmos veículos que trabalham na coleta. Nas cidades que tem maiores condições de investimento, os caminhões compactadores são usualmente empregados na coleta unificada porque proporcionam maior eficiência operacional. Não se pode descuidar da higiene e da estanquidade dos equipamentos, a fim de não espalhar lixo pelas ruas durante a movimentação do caminhão e evitar proliferação de vetores (PACHECO et al., 2012).

**Tabela 1 -Total de municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços em Goiás**

Total de Municípios	Limpeza Urbana	Coleta de Lixo	Coleta Seletiva	Reciclagem	Remoção de Entulhos	Coleta de Lixo Especial
246	246	246	2	7	225	176

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000).

## 5 TRATAMENTO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Na maioria dos municípios brasileiros, os resíduos sólidos destinam-se em aterros inadequados, sem tratamento prévio. Existem diversas iniciativas de reciclagem de resíduos e de compostagem, que por enquanto ainda representam uma quantidade pouco significativa de resíduos tratados na maioria dos casos.

### 5.1 TRIAGEM

É uma operação que tem como objetivo separar os materiais que deseja recuperar de acordo com sua composição e posteriormente vendidos para a indústria de reciclagem. Os resíduos orgânicos são tratados para geração de adubo orgânico e os rejeitos são enviados para aterros sanitários. Pode ser executado manualmente em pátios, mesas ou esteiras com métodos mecânicos e automatizados sendo realizados em usinas, nos aterros, nos lixões e em outros locais.

### 5.2 RECICLAGEM

Alguns resíduos sólidos demoram décadas ou muitas vezes séculos para se decompor. Porém muitos deles são formados por materiais recicláveis e podem ser utilizados novamente como matéria prima. Alguns processos de reciclagem podem ser realizados artesanalmente para fins educativos e artísticos. Existe uma série de atividades, pelas quais os materiais que se tornariam resíduos, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados na manufatura de novos produtos, idênticos ou não ao produto original. Para reciclagem de cada tipo de material há processos tecnológicos específicos sendo alguns baratos e conhecidos, outros precisam ainda serem aperfeiçoados para melhorar a sua economicidade (MACHADO, 2013).

Além de contribuir com a qualidade de vida e a preservação do meio ambiente, o importante processo de reciclagem é fonte de renda para muitos trabalhadores e lucro para empresas envolvidas com este processo. Para que isso ocorra, é necessário que a população e o poder público tenham consciência da importância da coleta seletiva e promovam a mesma com um sistema adequado, pois, nesse cenário cada um tem o seu papel.

### 5.3 COMPOSTAGEM

A compostagem é o processo de transformar os resíduos orgânicos através de processos físicos, químicos e biológicos, sejam eles de origem urbana, doméstica, industrial ou agrícola, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Esse processo abrange procedimentos muito complicados de natureza bioquímica, realizados por milhões de microorganismos do solo que possuem a matéria orgânica como fonte de energia. A matéria orgânica realiza duas etapas, primeiro ela alcança a bioestabilização e em seguida atinge a humificação. (LIMA, 2004).

Os produtos da compostagem são usados em jardins, hortas, substratos para plantas e na adubação de solo, gerando nutrientes para a terra e aumentando a conservação de água. Por isso a compostagem é importante, pois fornece condições para que os microorganismos degradem a matéria orgânica gerada e disponibilizam nutrientes para as plantações. (LIMA, 2004).

### 5.4 INCINERAÇÃO

A incineração é um processo de redução de peso e volume dos resíduos por meio de queima controlada. É uma prática muito antiga que vem sendo realizada durante décadas para a eliminação do lixo, principalmente em áreas rurais, porém, quando realizada de forma inadequada provoca ao meio ambiente mais prejuízos que benefícios.

O principal problema que a incineração resulta é a poluição do ar pelos gases liberados durante a combustão e os resíduos que passam pelos filtros que não são coletados, porém essas situações acontecem muitas vezes por mão de obra desqualificada e não como consequências do processo (JIVAGO, 2018).

Em países desenvolvidos, a incineração é utilizada muitas vezes como fonte de energia elétrica. Em países como Japão e Suíça grande parte dos resíduos sólidos são eliminados por incineração, 72% e 88% respectivamente (JIVAGO, 2018).

## 6 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Em países menos desenvolvidos, o resíduo urbano depois de descartado, é geralmente enviado a um vazadouro, a um aterro controlado, ou a um aterro sanitário. Os resíduos não tratados e os rejeitos dos diversos processos de tratamento precisam ser dispostos no solo, e a solução mais correta e indicada é o aterro sanitário.

A Quantidade de lixo coletada nas cidades Brasileiras vem aumetando ao longo dos anos, o grafico abaixo mostra o volume de resíduos sólidos coletados por dia por região.

**Tabela 2 - Volume total de resíduos sólidos coletados, segundo as grandes regiões**

Grandes Regiões	Volume total de resíduos sólidos coletados (t/dia)
Norte	14.639
Nordeste	47.206
Sudeste	68.181
Sul	37.342
Centro- Oeste	16.120
Brasil	183.488

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008).

De acordo com os dados da tabela 2, a região que tem o maior numero de lixo xoletado por dia é a região Sudeste.

### 6.1 LIXÃO OU VAZADOURO

É uma forma inadequada de disposição final dos resíduos. O despejo é feito em terrenos a céu aberto, sem medidas de proteção ao meio ambiente e a saúde, provocando a degradação indiscriminada da natureza.

Os lixões são irregulares porque geram o aumento de vetores e o surgimento de doenças, podendo provocar a poluição do solo, das águas e do ar. Do ponto de vista social e econômico acabam refletindo a miséria da região. Embora seja considerado uma forma inadequada de descarte, o lixão ainda é a forma mais comum de destinação de Resíduos Sólidos no Brasil.

Algumas informações da PNSB (2008) sobre a reciclagem de material merecem relevância. O primeiro analisa sobre a atuação de catadores em lixões. Conforme a pesquisa 26,6% das entidades municipais responsáveis pela disposição final dos resíduos sólidos tem conhecimento da existência de catadores nos vazadouros. Esse percentual é uma média nacional, e pode elevar se considerados os percentuais das grandes regiões, com ênfase para a região Centro-Oeste, com 46,4% de presença de catadores em seus lixões (VILANOVA, 2011).

## 6.2 ATERRO CONTROLADO

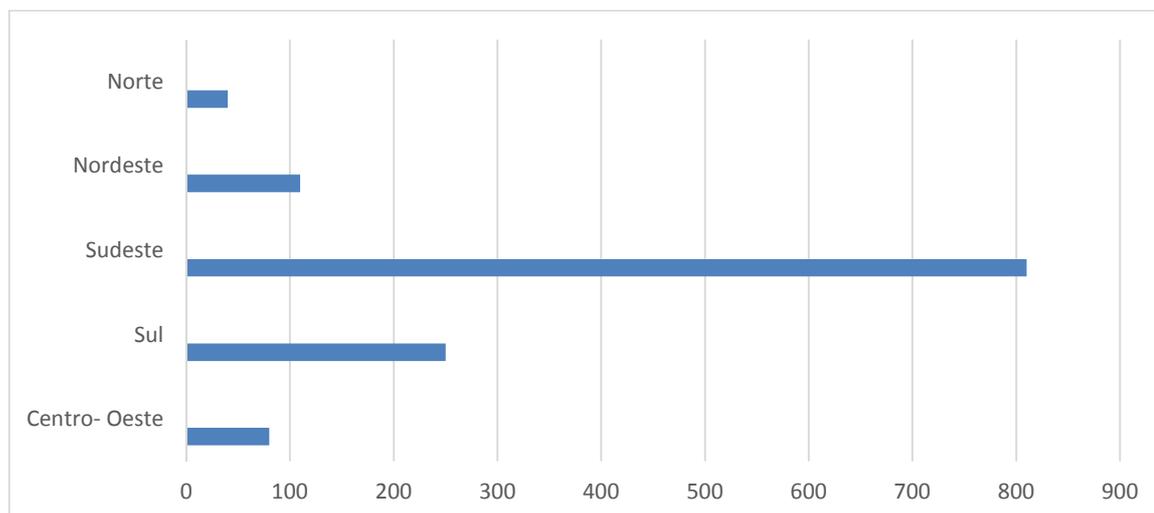
Normalmente são originados de um lixão e é considerado uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, é uma técnica que utiliza princípios de engenharia para confinamento dos resíduos sólidos, esses aterros geralmente recebem cobertura diária de terra, porém costumam não possuir impermeabilização na base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas, pois, não possuem sistemas de tratamento do chorume ou de dispersão dos gases gerados (VILANOVA, 2008).

A ausência de sistema de coleta de chorume provoca retenção de uma parte do líquido no interior do aterro, a outra parte atravessa o solo. Assim costuma-se aplicar uma camada de cobertura provisória com material argiloso, a fim de minimizar a entrada de água de chuva no aterro. Aplica-se também uma camada de impermeabilização superior, quando o aterro atinge sua cota operacional máxima (PACHECO et al., 2012).

Esse aterro é considerado impróprio para alguns profissionais, porque passa a impressão de que os riscos ambientais associados aos resíduos dispostos estão controlados dentro das normas estabelecidas, mas não estão.

O Gráfico abaixo mostra a quantidade de municípios que fazem a destinação de seus resíduos sólidos em aterros controlados, por região.

**Gráfico 1 - Municípios que fazem destinação de resíduos sólidos em aterros controlados, por grandes regiões**



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008).

De acordo com o gráfico 1, a região com mais municípios descartando resíduos em aterros controlados é a região Sudeste.

### 6.3 ATERRO SANITÁRIO

O destino de resíduos sólidos adequado é o aterro sanitário. Conforme a NBR 8419 (1996) da ABNT o aterro sanitário é um procedimento de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo que não provoca impactos ambientais e a saúde da população, sendo utilizado métodos e normas de engenharia.

É um processo utilizado com metodologia de engenharias e normas específicas, ocasionando um aterro seguro com melhor aproveitamento da área em que é construído, permitindo reduzir o volume, sendo coberto com uma camada de terra em cada parte necessária ou na conclusão de cada trabalho (LIMA, 2004).

No aterro sanitário, é feito um prévio nivelamento de terra e a impermeabilização em todo o solo, evitando a contaminação do lençol freático pelo chorume, fato que não acontece no aterro controlado e no vazadouro a céu aberto. O chorume que resulta da degradação dos resíduos orgânicos é recolhido, em seguida levado para ser tratado em uma estação de tratamento de efluentes. Nesse aterro também é feita a cobertura todos os dias do lixo por material adequado, não ocasionando a proliferação de vetores, mau cheiro e poluição visual.

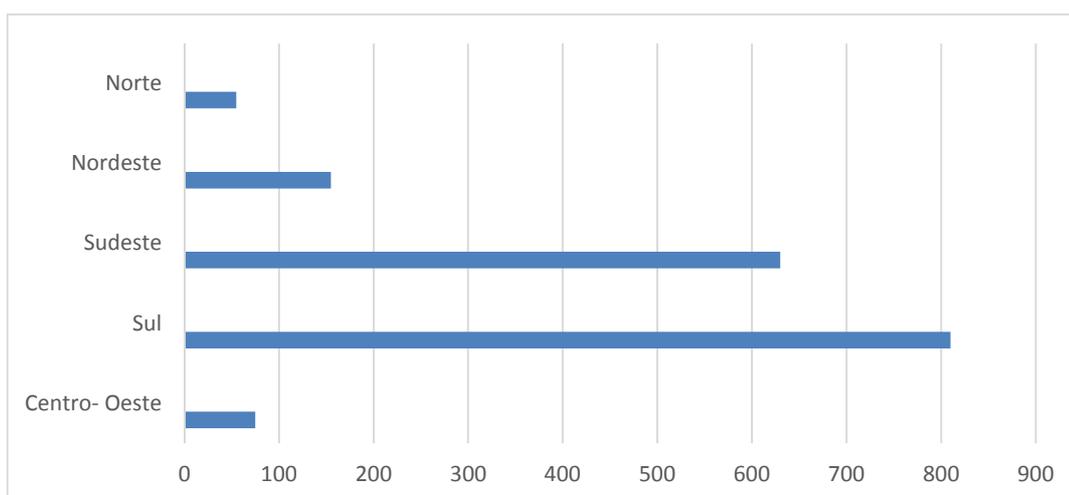
Esse tipo de aterro está sendo muito utilizado pelas cidades como destino dos resíduos, por se tratar de um método seguro e eficaz (VILANOVA, 2010).

Conforme a NBR 13896 (1997) da ABNT, que propõe a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. O supervisionamento do mesmo deve ser no mínimo, por mais 10 anos após a sua conclusão.

Para a construção de um aterro sanitário é necessário uma equipe de profissionais treinados e capacitados em suas funções específicas. O estabelecimento das tarefas e funções de cada etapa da construção, desde o início até a conclusão e manutenção posterior do aterro é de extrema importância, sempre priorizando a preservação ambiental do lugar. A gestão técnica deverá estar sob a orientação de um profissional da Engenharia Civil e Ambiental, com experiência adequada para dirigir e supervisionar todas as tarefas que estão presentes na obra. Dependendo do corte do aterro, auxiliares técnicos, projetista, topógrafo e tecnólogo de solos, deverão auxiliar o Engenheiro responsável. Supervisores, operadores de equipamento e pessoal devidamente capacitados deverão compor a equipe (OBLADEN et al. 2009).

O gráfico 2 mostra a quantidade de municípios que já utilizam aterros sanitários por região.

**Gráfico 2 - Municípios que fazem destinação de resíduos sólidos em aterros sanitários, por grandes regiões**



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008).

A região Sul lidera o ranking dos municípios que fazem a destinação de seus resíduos sólidos em aterros sanitários, de acordo com o gráfico 2.

## 7 MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Para se definir o método construtivo, é preciso ter em mãos alguns dados da área destinada à construção do aterro, pois o método escolhido precisa ser aquele que melhor se adapte as características do solo.

Dentre os métodos mais utilizados na construção de um aterro sanitário, o método da trincheira ou vala, o método da rampa e o método da área são os mais utilizados.

### 7.1 MÉTODO DA TRINCHEIRA OU VALA

Geralmente é utilizado em áreas planas ou pouco inclinadas, onde o lençol freático esteja a uma profundidade grande. Sua técnica consiste no preenchimento de trincheiras ou valas escavadas com dimensões diferentes e conforme a quantidade de lixo gerado, de forma a permitir a operação dos equipamentos utilizados na aterragem. As dimensões das trincheiras definem os equipamentos, os tipos de materiais que serão empregados e os métodos construtivos. Os resíduos são compactados de maneira manual ou mecânica de acordo com as exigências do local. Aterros em trincheiras são feitos na maioria das vezes em cidades de pequeno porte, pois pode ser feito de forma manual, porém tem um alto custo por consequência da escavação de grandes valas (LANGE et al. 2008).

Conforme Carmo (2012) esta forma de aterro exige a escavação de grandes valas, e pode ser utilizado em situações específicas, como as relacionadas a seguir:

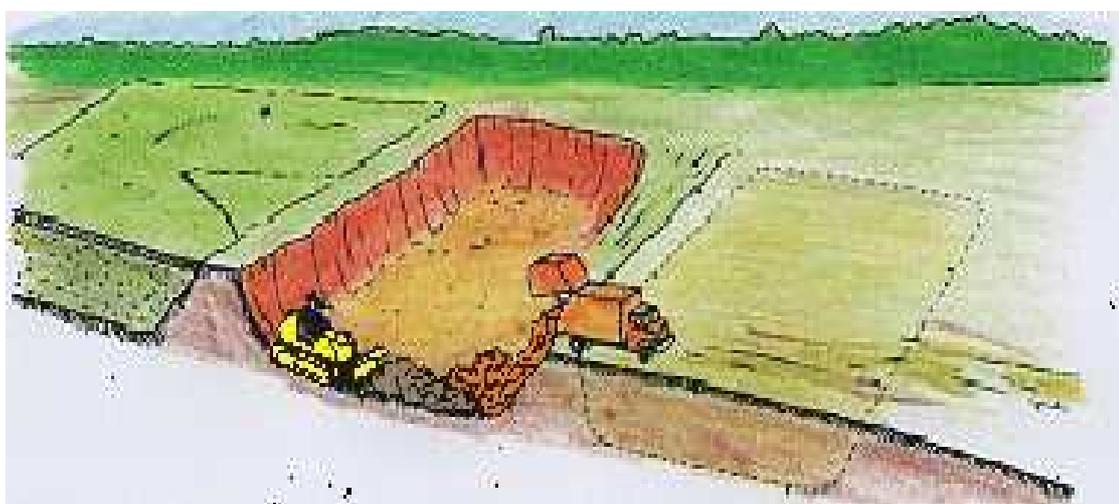
- Caso haja necessidade de mobilização de um excesso de solo;
- Quando não se pretende mudar a topografia atual do terreno;
- Quando se deseja construir várias camadas de resíduos acima das valas já executadas;
- Caso seja necessário introduzir no aterro resíduos especiais, pelo seu estado físico, pela sua composição química ou biológica ou por serem perigosos a saúde e ao ambiente.

As trincheiras podem ser de grandes dimensões e de pequenas dimensões. As trincheiras de grandes dimensões tem a operação igual à de um aterro sanitário convencional. Após a compactação dos resíduos, eles são cobertos com uma camada fina de solo, muitas vezes nessa camada é reutilizado o próprio solo do local retirado durante o processo de escavação da

trincheira. Quando a aplicação das camadas é concluída, a trincheira e o terreno volta a sua topografia original (CARMO, 2012).

As trincheiras de pequenas dimensões (Valas) (figura 1), são utilizadas em pequenos municípios, pois os poucos recursos financeiros para a execução e construção de aterros sanitários e a pouca disponibilidade de equipamentos para a sua operação, contribuem para o emprego deste método (CARMO, 2012).

**Figura 1 - Aterro Sanitário Método da Trincheira**



Fonte: REIS, 2001.

É importante ressaltar que as escavações das valas exigem também condições favoráveis tanto em relação à profundidade e uso do lençol freático quanto no tipo do solo do local, pois os terrenos com lençol freático muito próximo da superfície são inadequados para a construção desse aterro e os terrenos rochosos também não são indicados devido as dificuldades de escavação.

## 7.2 MÉTODO DA RAMPA

É realizado quando o terreno onde será implantado o aterro apresenta topografia acidentada, onde pode ser modificada através de terraplanagem. Esse método é executado em áreas de meia encosta, onde o solo possui condições para escavação e seja apropriado para cobertura do aterro. Os resíduos são despejados junto à base de um desnível já existente, sendo em seguida compactados por um trator de esteira. O emprego do método da rampa (figura 2)

deve ser feito em camadas de lixo, sendo acrescentado várias camadas, levando a uma elevação de lixo de forma prismática (CARMO, 2012).

Consiste no aterro realizado com a utilização de um talude, natural ou construído, onde os resíduos vão sendo depositados e compactados de encontro a esse talude, seguindo a declividade do local, com o cobrimento necessário no final de cada etapa da construção, sendo feito até que as células em construção cheguem no topo do declive da parte superior e lateral(LANGE et al. 2008).

**Figura 2 - Aterro Sanitário Método da Rampa**



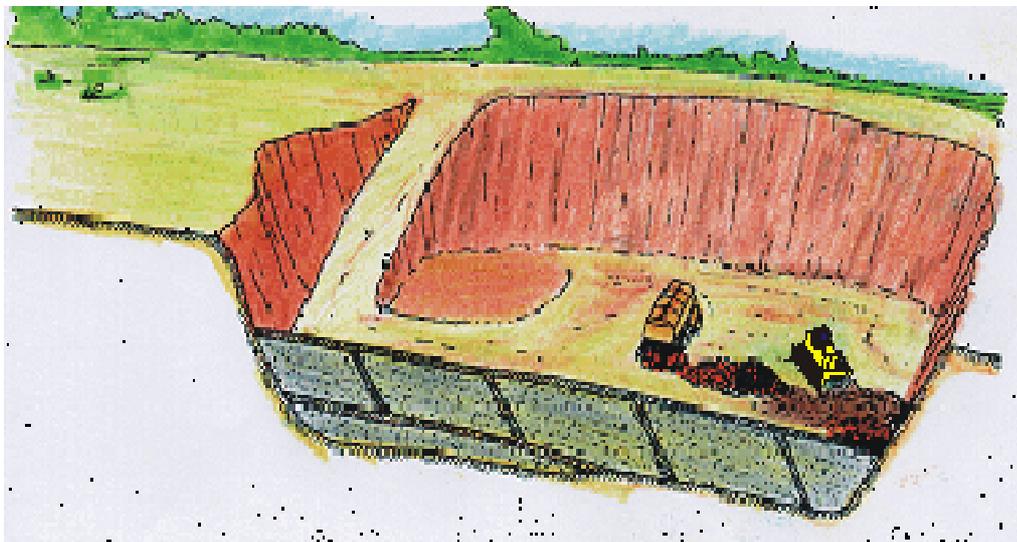
Fonte: DRAETA, 2014.

A figura é auto explicativa, mostrando os processos e o método construtivo em um aterro sanitário pelo método da rampa.

### 7.3 MÉTODO DA ÁREA

Construído normalmente em locais de topografia plana e com lençol freático a poucos metros da superfície. Primeiramente, os resíduos são depositados em um lugar planejado do terreno, sendo iniciado o aterro, os mesmos são juntados e compactados, formando uma elevação do formato de um tronco de pirâmide que finalmente é coberta com terra (CARMO, 2012).

**Figura 3 - Aterro Sanitário Método da Área**



Fonte: REIS, 2001.

O Aterro Sanitário método da área (figura 3) é utilizado em áreas onde o nível do lençol freático não permite escavações profundas.

## **8 ASPECTOS NECESSÁRIOS PARA EXECUÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO**

### **8.1 ÁREA**

As áreas para disposição final exigem critérios de seleção rigorosos, deve-se evitar áreas com solo muito permeável. Devem ser selecionadas com cuidado, do ponto de vista técnico, precisam favorecer e facilitar as atividades ali realizadas, como transporte, manuseio e cobertura dos resíduos. Do ponto de vista econômico, devem ser com baixo custo e próximas o suficiente para não encarecer demais os custos de transporte, deve-se visar os custos relacionados a compra do terreno, a distância do local até a cidade e a manutenção dos drenos. Do ponto de vista ambiental o terreno deve possuir características hidrogeológicas favoráveis, tais como solo de baixa permeabilidade, estabilidade mecânica, ausência de movimentos naturais de terra e lençol freático distante. Do ponto de vista político e social devem abordar a aprovação da comunidade para a construção do aterro, o acesso a área através de vias com baixa densidade e a distância dos núcleos urbanos de baixa renda (LIMA, 2004).

Para escolha da área, é realizado primeiramente a seleção de áreas disponíveis para a construção do aterro que atendam as normas exigidas, sendo feito um levantamento de dados físicos e ambientais do lugar. Conforme a NBR 13896 (1997) a área para a construção do aterro deve ser escolhida para que os impactos ambientais gerados sejam mínimos.

Muitas vezes o local escolhido é a área onde é localizado o antigo lixão da cidade, desde que não seja um risco para o meio ambiente e para a saúde pública. Em alguns casos são escolhidas áreas que não são apropriadas para outras atividades ou que já foram degradadas por atividades anteriores.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), a avaliação da adequabilidade de um local a ser utilizado para implantação de um aterro sanitário deve ser tal que os impactos ambientais gerados na sua implantação e operação sejam mínimos. A instalação do aterro deve ser bem aceita pela população vizinha, além disso, é necessário que ele esteja de acordo com o zoneamento local e que possa ser utilizado por longo período de tempo.

As principais características que devem ser levadas em consideração na definição das áreas potenciais para instalação de aterros de resíduos de acordo com a NBR 8419 (1996) são:

- Dados populacionais;
- Zoneamento ambiental;

- Características dos resíduos;
- Titulação da área escolhida;
- Situação atual da coleta e transporte, inclusive custos;
- Dados geológico-geotécnicos, tipos de solo e relevo;
- Águas subterrâneas, superficiais e regime de chuvas;
- Legislação, inclusive de uso e ocupação do solo;
- Preço das áreas;
- Bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário se localizará;
- Dados sociopolíticos das comunidades envolvidas.

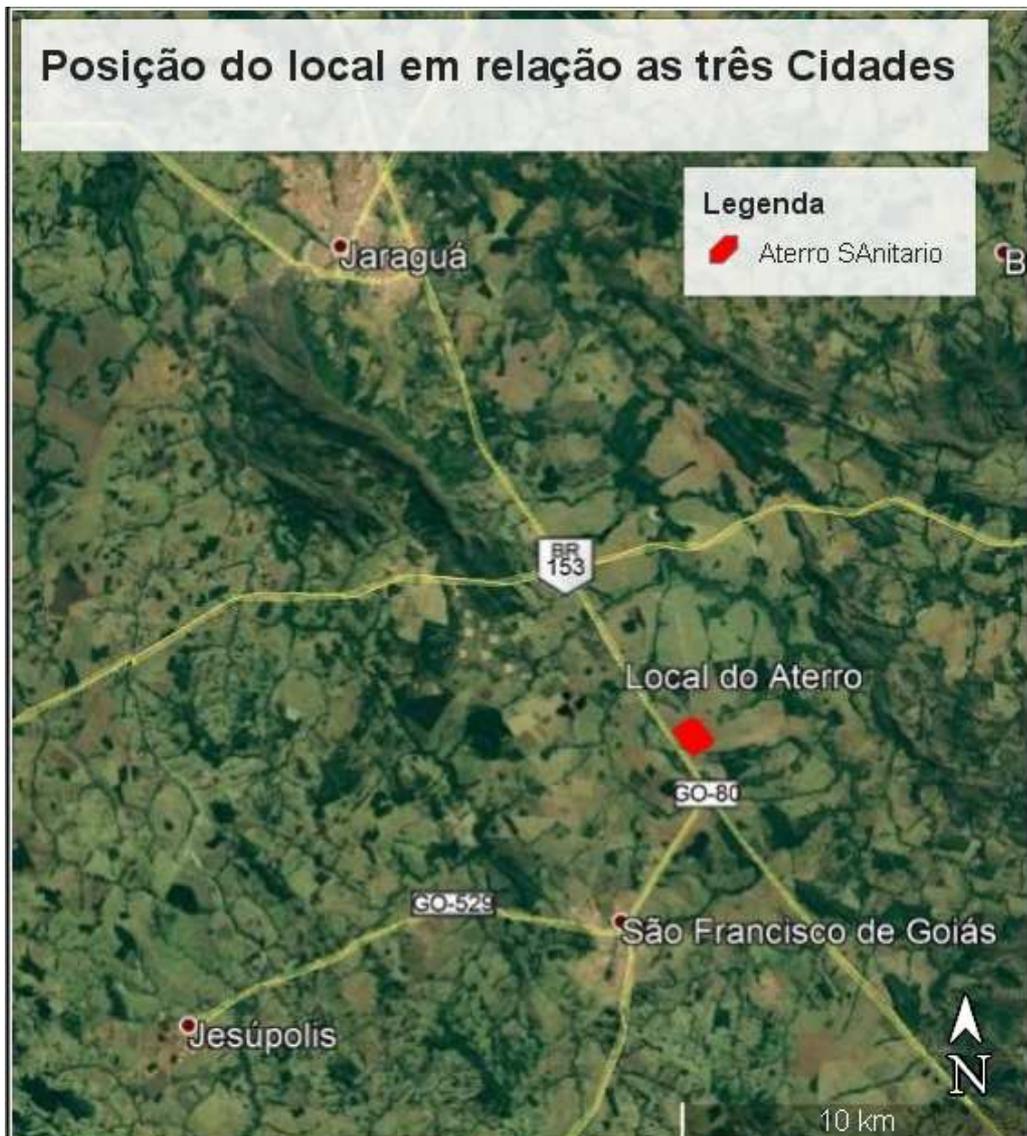
De acordo com a Funasa (2015) os critérios para instalação do aterro sanitário são:

- Vida útil do aterro suficiente para 20 anos, com mínimo de 15 anos para aterro de pequeno porte;
- Zoneamento ambiental sem restrições;
- Densidade populacional baixa;
- Baixo custo da terra;
- A distância do curso de água dependem da legislação estadual, porém pelo CONAMA não pode ser inferior a 200 metros;
- Fácil acesso;
- Não podem transportar poeira e odores para a população;
- Não deve estar propício a inundações;
- Para aterros com impermeabilização constituída por camada de argila compactada a distância do lençol freático à camada impermeabilizante não pode ser inferior a 2,5 metros, sendo medido o nível do lençol freático no período com mais precipitação no ano;
- Para aterros com impermeabilização por manta plástica sintética, a distância do lençol freático à manta não pode ser inferior a 1,5 metros;
- Distância do centro de atendimento deve ser de 2 a 20 km;
- Deve ter a possibilidade de aproveitamento futuro da área após o encerramento de operação;

- Declividade adequada do terreno (%):  $1 > \text{declividade} < 20$ ;
- Declividade possível do terreno (%):  $20 > \text{declividade} < 30$ .

Para a construção do aterro sanitário objeto desse estudo, a área escolhida para o dimensionamento encontra-se a uma distância de 16,8 km da cidade de Jaraguá, 6,1 km da cidade de São Francisco de Goiás e a 20 km da cidade de Jesúpolis, com afastamento de 306 metros da nascente mais próxima e a 520 metros da residência mais próxima, como é possível observar na figura 4 e na figura 5.

Figura 4 – Posição do local em relação as três cidades



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

A figura 4 mostra a localização proposta para implantação do aterro em relação as cidades que irão usufruir do mesmo.

**Figura 5 - Local Escolhido para o Aterro Sanitário**



Fonte:GOOGLE EARTH, 2018.

A figura 5 mostra a demarcação do local escolhido para o aterro sanitário e as distâncias das nascentes e residências mais próximas coletadas pelo Google Earth.

## 8.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

De acordo com LANGE (2008) O licenciamento ambiental é o processo no qual a empresa licencia a localização, abertura, ampliação e execução de empreendimentos e atividades de pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado, sobre as que usam recursos ambientais considerados poluidoras e com riscos de causar danos ao meio ambiente. O licenciamento ambiental é emitido por órgãos ambientais estaduais ou municipais. As fases do licenciamento ambiental diversificam em cada estado, mas as seguintes fases que estarão sempre presentes são:

- Licença Prévia (LP): Autoriza o empreendedor para a elaboração do projeto executivo e seus estudos de impactos ambientais com a construção do aterro. Após o pedido da LP, o órgão de controle ambiental fará uma instrução técnica para direcionar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o seu relatório.

O empreendedor poderá iniciar o projeto executivo durante o processo da LP, acrescentando a elaboração de projetos de interesse ambiental e investigações de campo, sempre seguindo as medidas do EIA.

- 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 aprova a operação do empreendimento, após a verificação obrigatória, na qual é fiscalizado o cumprimento das licenças referidas anteriormente. É fornecida com prazos de 4 ou 6 anos, podendo ocorrer uma revalidação periódica. Existe a possibilidade de ocorrer o cancelamento da licença de operação, desde que realizada de forma legalizada.

É necessário realizar um Estudo de Impacto Ambiental (EIA), na qual é apontado os pontos negativos e positivos da implantação do aterro sanitário com os meios físicos, biótico (flora e fauna) e antrópico, onde é estabelecido ações para minimizar os pontos negativos. O EIA é aprovado pelo órgão de controle ambiental, tornando acessível somente quando for elaborado um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), onde é apresentado os estudos realizados pelo EIA (LANGE, 2008).

### 8.3 IMPERMEABILIZAÇÃO

As mantas impermeabilizantes são utilizadas na engenharia para as mais variadas funções, como por exemplo, impedir a infiltração de umidade e de vapores, reservar água e diferentes efluentes, e conter rejeitos das mais variadas origens, como o lixo urbano e os resíduos industriais protegendo da entrada de líquidos externos e evitando a infiltração de percolados e gases procedentes do aterro no solo.

O surgimento dos geossintéticos incluiu novos materiais para a composição de barreiras impermeáveis, como as geomembranas e os geocompostos argilosos para barreiras. Cada uma dessas opções apresentam vantagens e desvantagens em função de uma série de exigências para cada tipo de aplicação: resistência, durabilidade, facilidade de construção e custo (VERTEMATTI, 2004).

A camada de impermeabilização da base deve garantir que os resíduos não entre em contato com o solo, realizando uma compactação adequada em cada espessura de solo sendo que para uma maior resistência é necessário acrescentar uma camada de solo acima da manta de 20 a 30 cm de espessura, podendo ser realizado em qualquer solo, verificando o tratamento da base com as indicações do projeto específico, impedindo a contaminação do lençol freático e do solo através de infiltrações de percolados ou elementos tóxicos. Para executar essa impermeabilização de forma eficaz, a camada de impermeabilização de materiais deve conter solo argiloso de baixa permeabilidade ou geomembrana sintética com espessuras apropriadas. (LANGE et al. 2008).

Em geral um material que agrega todas estas características são as geomembranas de polietileno de alta densidade, que segundo Feldkircher (2008) são bastante utilizados como impermeabilizantes.

O Polietileno de Alta Densidade possui densidade 0,941 a 0,959 g/cm<sup>3</sup>, isso se dá pela compactação das cadeias poliméricas, proporcionando alta resistência química, pela dificuldade de permeabilidade dos líquidos, gases e vapores. Sua permeabilidade esta em torno de 10<sup>-12</sup> cm /s, ou seja, praticamente impermeável. Os dois polímeros termoplásticos mais utilizados na fabricação das geomembranas são os amorfos e os semicristalinos, os quais possuem parte de sua estrutura amorfa e parte cristalina. A porcentagem de cristalinidade varia cerca de até 70% no PEAD. É produzido em forma de bobinas, com comprimentos entre 50 a 300 m e de 5 a 10 m de largura, e espessura de 0,5 mm a 3,0 mm de espessura, dependendo de cada fabricante (FELDKIRCHER, 2008).

#### 8.4 TRATAMENTO DO BIOGÁS

Um aterro pode ser analisado como um reator biológico, pois é um local onde são despejados resíduos e ocorre absorção da água da chuva, possuindo saídas de gases e chorumes. O aterro possui vários tipos de gases, alguns em grandes quantidades como o dióxido de carbono e o metano, e são os gases oriundos da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis da matéria orgânica. Os gases que estão presentes em um aterro são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), nitrogênio (N<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>). (Ministério do Meio Ambiente, 2018).

Os elementos que podem conduzir a produção de biogás são a composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos,

projeto do aterro e sua operação. Se o aterro não apresentar uma rede de drenagem que promova a exaustão controlada do biogás, podem ocorrer passagens através dos poros do solo e microfaturas na matriz rochosa. Como consequência das migrações, o biogás pode atingir áreas adjacentes ao aterro ou acumular bolsões, tendo como reação possíveis explosões (Ministério do Meio Ambiente, 2018).

## 8.5 TRATAMENTO DO CHORUME

Uma das etapas que ocorrem no aterro sanitário é a produção e o tratamento do chorume. Com relevância nos aterros sanitários que são localizados em lugares com muita precipitação durante o ano, pois a produção do chorume aumenta, fazendo com que o risco de contaminação no solo e no lençol freático seja mais fácil. Os chorumes de aterros sanitários muitas vezes possuem altas aglomerações de compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal e também contêm altas concentrações de metais pesados e sais inorgânicos.

A composição química do chorume é relativa e proporcional, dependendo das características dos resíduos depositados no interior do aterro e da sua idade. Aterros novos apresentam um chorume com características ácidas, alta carga orgânica e alta concentração de metais em sua composição, enquanto o chorume de aterros mais antigos apresentam um pH menos ácido, carga orgânica mais baixa e uma menor concentração de metais em sua composição (NASCIMENTO, 2002).

No sistema de tratamento de chorume o mesmo deve ser tratado antes de ser descartado no curso de um rio ou em uma lagoa. O tratamento pode ser realizado no próprio local sendo feito conforme as normas ou o chorume coletado pode ser levado para um lugar adequado (normalmente em uma Estação de Tratamento de Esgotos). Os tipos de tratamento mais usados são o tratamento biológico (lagoas anaeróbias, aeróbias e lagoas de estabilização), tratamento por oxidação (evaporação e queima) ou tratamento químico (adição de substâncias químicas ao chorume) (CETESB, 2018).

## 8.6 SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem é um fator muito importante na hora de se planejar a construção de um aterro sanitário, pois vai ter grande impacto na eficiência e bom funcionamento do aterro.

Um dos objetivos da drenagem é diminuir o volume do lixo produzido para que seja confinado em um espaço menor possível para aproveitamento da área do aterro, mas o principal objetivo é evitar que as substâncias produzidas durante o processo de decomposição da matéria orgânica contamine as águas e o solo da região.

### 8.6.1 Drenagem de líquidos percolados

Entre as substâncias produzidas no aterro está o líquido percolado que é composto pela água da chuva e pelo chorume, também conhecido como lixiviado, que é o resultado da decomposição dos resíduos.

O lixiviado é um produto derivado da hidrólise dos compostos orgânicos e da umidade do sistema, com características que variam em função do tipo de resíduos sólidos, da idade do aterro, das condições meteorológicas, geológicas e hidrológicas do local de disposição. Em geral, o lixiviado possui elevada carga orgânica, fontes de nitrogênio – como a amônia –, metais pesados e grupos microbianos. Assim, os lixiviados podem contaminar as águas subterrâneas e superficiais, transmitir doenças ao homem, como a hepatite A, entre outras. (LANGE et al. 2008).

O sistema de drenagem em um aterro sanitário, ao coletar o líquido percolado, reduz a pressão sobre a massa de lixo e diminui as chances de migração para o subsolo. (CORSINI, 2014).

A preparação do aterro para a construção do sistema de drenagem deve ser planejada antes mesmo da impermeabilização, pois o lixiviado deve fluir por gravidade, evitando assim a necessidade de utilização de bombas.

Existem dois sistemas de drenagem de lixiviados, como mostra a tabela:

**Tabela 3 - Sistemas de drenagem de lixiviado**

Sistemas	Configuração	Materiais	Vantagens	Desvantagens
Colchão drenante	 Fonte: FIECHERT 2007	Pedras de mão ou brita	Maior eficiência	Maior custo
Espinha de peixe		Pedras de mão ou brita	Menor custo	Menor eficiência

Fonte: RSU POMA (2008).

Embora o sistema de colchão drenante seja considerado mais eficiente, o sistema espinha de peixe tem sido mais utilizado. Nesse tipo de sistema, podem ser usados tubos perfurados ou valas com brita, que são chamadas de dreno cego.

Em caso de tubos, é preciso estar atento as especificações técnicas e resistência, pois estarão sujeitos a diversos fatores durante a operação do aterro sanitário, como a compactação de camadas de resíduos e movimentação de máquinas, além do contato com diversos reagentes existentes no líquido percolado e elevadas temperaturas durante o processo de decomposição dos resíduos orgânicos.

Os tubos são instalados com uma camada de brita ao redor, que auxilia tanto na acomodação do tubo ao terreno, quando na drenagem do líquido percolado.

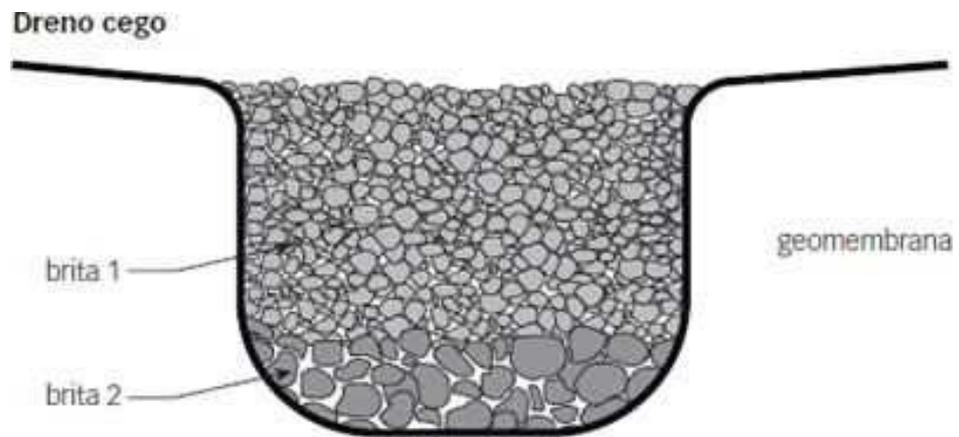
**Figura 6 - Dreno com tubulação**



Fonte:AMVAP, 2009.

No caso de Drenos Cegos (figura 7), as canaletas são preenchidas somente com uma camada de brita 2 na base e uma camada de brita 1 na superfície.

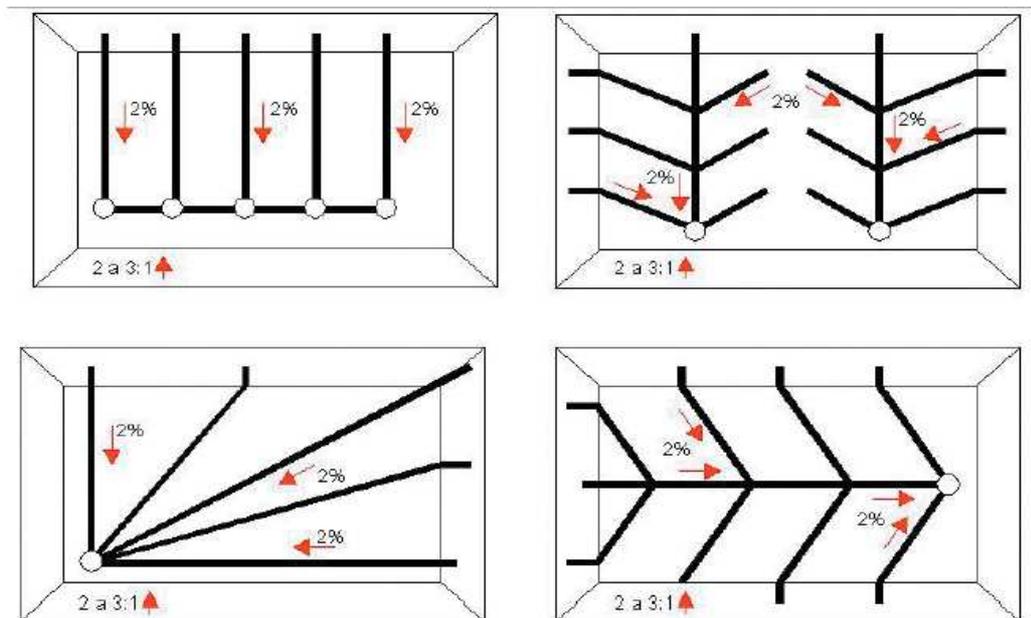
Figura 7 - Esquema de montagem de dreno cego



Fonte: INFRAESTRUTURA URBANA, 2014.

A declividade indicada para a instalação dos tubos de drenagem é de 1% a 2%, e a disposição dos tubos ou valas de drenagem podem variar de acordo com a topografia do local e a geometria do aterro.

Figura 8 - Redes de Drenagem (Espinhas de Peixe)



Fonte: RSU POMA, 2008.

O Sistema de drenagem espinha de peixe (figura 8) é composto pelos drens centrais, e pelos drens secundários. Os drens centrais tem a função de receber o líquido percolado dos drens secundários e levar até o sistema de tratamento.

### 8.6.2 Drenagem de gases

O processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários produz gases como o metano e o dióxido de carbono, ambos contribuem para o aquecimento global e precisam ser tratados.

Assim, para o sistema de drenagem de gases de aterros, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais para a retirada do gás dos aterros. Os drenos verticais de gás são os mais utilizados, sendo que, nesse caso, sempre são interligados com os drenos horizontais de lixiviados (LANGE et al. 2008).

O diâmetro desses tubos verticais pode variar entre 50 cm a 100 cm, e em alguns casos podem chegar a 150 cm e podem ser preenchidos com brita 3, 4 ou 5.

**Figura 9 - Sistema de Drenagem de Gases**

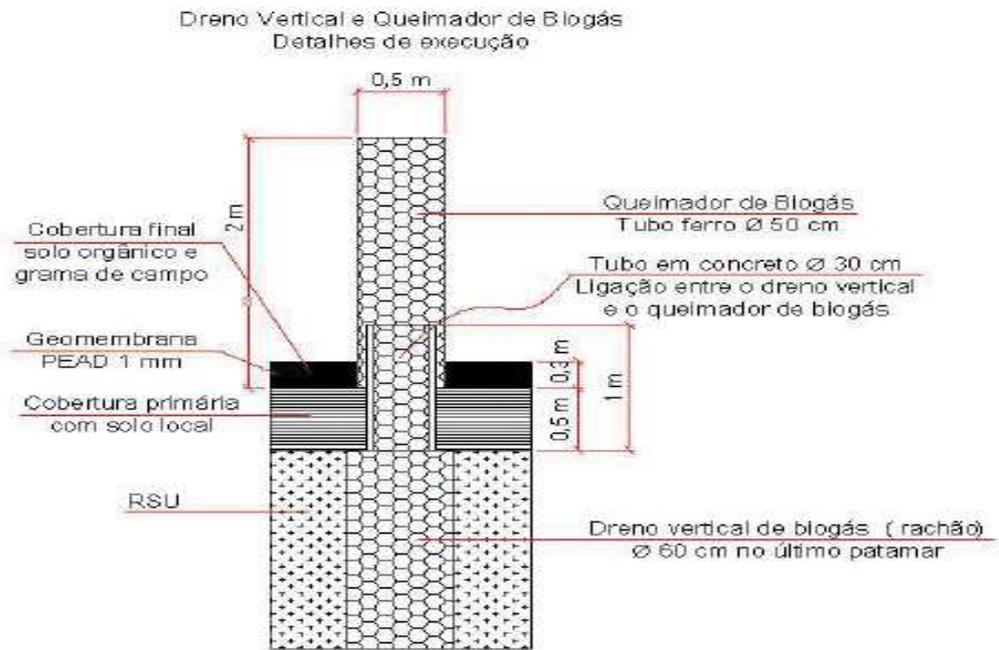


Fonte: RSU POMA, 2008.

Segundo Lange (2008, p.88), “A distribuição em planta dos drenos verticais de gases (figura 9) é feita considerando-se um raio de influência, ou de captação de biogás, de cada dreno, que podem variar de 15m a 30m. Sugere-se que, quanto maior for à altura, menor seja o raio de influência de projeto de cada dreno.

A figura 10 apresenta a estrutura da tubulação de drenagem vertical de gases em um aterro sanitário.

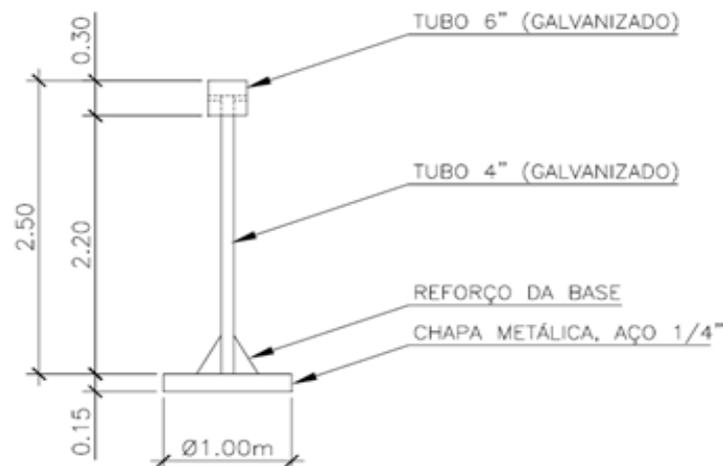
**Figura 10 - Estrutura da tubulação de drenagem de gases**



Fonte: RSU POMA, 2008.

A forma de tratamento mais usada para tratamento dos gases produzidos pelos aterros sanitários é a queima. O processo de produção de gases inicia-se logo após a decomposição e pode se estender por mais de 40 anos. Na figura 11 é apresentado este tipo de queimador ou *flare* e suas dimensões (REICHERT, 2007).

**Figura 11- Detalhe de queimador de gás**



Fonte: REICHERT, 2007.

### 8.6.3 Drenagem de águas pluviais

Outro ponto importante na construção do aterro é a drenagem das águas pluviais, que não devem se misturar aos líquidos percolados do aterro, pois a água pluvial não necessita de tratamentos antes de ser lançada no meio ambiente.

A presença de água no aterro sanitário pode causar alguns problemas, como dificultar o processo de compactação, danificar a estrutura devido às erosões causadas pela água das chuvas além de aumentar o volume dos resíduos, ocupando assim espaços maiores.

O sistema de drenagem das águas pluviais (figura 12) deve interceptar a água das chuvas e desviar o escoamento para que não se misture com os líquidos percolados.

**Figura 12 - Sistema de drenagem de águas pluviais**



Fonte: FUNASA, 2010.

Os drenos da superfície do aterro podem ser compostos por um conjunto de tubos e canalizações posicionadas em torno das áreas onde o resíduo é depositado, e tem a função de coletar e direcionar as águas da chuva até um ponto de lançamento ou tratamento, impedindo a sua infiltração na massa de lixo confinada. (SANCHES, 2014).

## **9 ESTRUTURAS E COMPONENTES DO ATERRO SANITÁRIO**

### **9.1 INFRAESTRURA BÁSICA**

#### **9.1.1 Portaria**

Na portaria é onde acontece a recepção, inspeção, verificação e controle dos caminhões e veículos que chegam no aterro sanitário, seja para a disposição dos resíduos ou trabalhadores.

#### **9.1.2 Balança**

Na balança é realizada a pesagem dos veículos que recolhem os resíduos, para se ter o conhecimento dos volumes diários e mensais que são depositados no aterro sanitário.

#### **9.1.3 Sinalização**

Deve conter no aterro placas indicando os locais de risco, o uso de equipamentos individuais de proteção, indicando o nome de cada unidade do mesmo.

#### **9.1.4 Isolamento e Cinturão Verde**

O isolamento deve ser feito por toda a área em operação, colocando cerca e portão em toda parte em volta do lote, impedindo o acesso de pessoas não autorizadas ou animais silvestres. O cinturão verde é constituído por espécies arbóreas no perímetro da instalação ao redor da área.

#### **9.1.5 Acessos**

Os acessos devem ser feitos de maneira a permitir que a circulação dos caminhões e dos trabalhadores do local sejam sob quaisquer condições climáticas e de fácil localização.

### **9.1.6 Iluminação e Comunicação**

Deve conter iluminação, para o uso noturno se necessário, e ligação de rede telefônica, celular ou rádio para melhor comunicação com os trabalhadores ou com algum órgão competente externo.

### **9.1.7 Abastecimento de Água**

Deve conter abastecimento de água tratada para o uso nas instalações locais pelos trabalhadores.

### **9.1.8 Instalações de Apoio Operacional**

No aterro deve ter um local próprio para administração, contendo escritório, refeitório, instalações sanitárias e vestiários para os trabalhadores locais.

### **9.1.9 Instrumentos e Monitoramento**

Os equipamentos são necessários para verificar o ambiente do aterro, medidores de vazão e recalques se o mesmo ocorrer, o monitoramento do solo abaixo do aterro e águas subterrâneas.

## **9.2 ROTINA OPERACIONAL DO ATERRO**

A rotina operacional do aterro deve ter um planejamento e ser sistematizada para que seja eficiente, com funcionamento de qualidade, assegurando o mínimo de impacto ambiental, deve-se assegurar que os resíduos gerados sejam depositados no local de forma adequada. Para se ter um controle do volume de resíduos, deve ser feito relatórios diários, mensais e anuais, formulários e planilhas para o total controle do local, além de plantas de construção para possível utilização. Esses relatórios, formulários e planilhas devem ser arquivados para serem analisados e estudados periodicamente para se saber o desempenho do aterro (LANZA, 2006).

### **9.2.1 Recebimento dos resíduos**

No recebimento dos resíduos deve ser realizado uma inspeção na qual os veículos coletores identificados são vistoriados e pesados na balança, devendo ser registrado pelo profissional o peso do mesmo, a origem dos resíduos, natureza e a classe dos mesmos, para se ter um controle do volume que será descarregado conforme o tipo de resíduo. O profissional deve orientar o motorista do veículo em qual unidade devem ser depositados os resíduos, para que não descarte em local inadequado, conforme o tipo de resíduo. (LANZA, 2006).

### **9.2.2 Tipos de resíduos que podem ser recebidos no aterro sanitário**

No aterro sanitário poderá ser depositado somente resíduos sólidos de Classe II classificado pela NBR 10.004 (2004) como sendo os Resíduos Não Inertes, onde não apresentam características de periculosidades, incluindo resíduos domiciliares e outros como combustíveis ou biodegradáveis como madeira, papel, plantas, resíduos de gradeamento, resíduos desidratados de veículos limpa-fossas, resíduos desidratados de Estações de tratamentos de água, desarenação, lodos desidratados das estações de tratamento de esgoto e resíduos sólidos de indústrias, comércios ou outras origens com classificação II, aprovadas conforme a norma.

### **9.2.3 Equipamentos, mão de obra e insumos necessários**

Conforme Lanza (2006) para o funcionamento adequado de um aterro sanitário são de extrema necessidade os seguintes equipamentos:

- Trator Esteira (com peso de no mínimo 15 toneladas);
- Retro/Pá Escavadeira para a construção da drenagem;
- Moto niveladora e Rolo Compactador Vibratório, para a compactação da parte de impermeabilização e para a camada final do aterro;
- Caminhão Basculante para o transporte de terra ou materiais necessários;
- Caminhão Pipa para umedecer periodicamente as vias de acesso, quando estiver na estiagem;

- Deve-se ter sempre solos em disponibilidades para o cobrimento dos resíduos diariamente;
- Deve-se conter solo argiloso para a impermeabilização;
- Gramíneas, para proteção da superfície final do aterro;
- Estacas e piquetes de madeira, para a marcação das áreas que serão depositados os resíduos.

De acordo com Lima (2004) para o funcionamento adequado de um aterro sanitário são de extrema necessidade a verificação se os funcionários estão diariamente usando equipamentos de proteção individual e se estão em dia com vacinas respectivas,

As mãos de obra necessárias para um aterro:

- Engenheiro para o controlar o bom funcionamento do aterro;
- Encarregado Geral;
- Ajudantes de operação, para auxiliar as máquinas e os caminhões que depositam os resíduos;
- Operadores de tratores de esteira;
- Operador de máquinas de terraplenagem;
- Motorista de caminhão basculante e caminhão pipa;
- Topógrafo e auxiliares do mesmo;
- Auxiliares de serviços gerais;
- Vigilantes.

#### **9.2.4 Disposição e descarga dos resíduos**

O local específico para a disposição dos resíduos deve ser limitado pelos profissionais capacitados em topografia, diariamente deve ser a área com estacas visíveis para o tratorista, onde delimita a altura e as laterais do local para que suporte o volume de resíduo durante todo o dia. Com isso é permitido um melhor controle, tornando tudo rápido e prático. Em aterros onde possui um clima que ocorre ventos fortes é recomendado a utilização de telas de proteção no processo de operação. Para períodos chuvosos ou quando ocorrer algum impedimento é

orientado manter sempre uma área para disposição emergencial, sendo previamente preparado conforme o projeto do aterro (LANZA, 2006).

O caminhão que realiza a coleta deve depositar os resíduos em pilhas com o auxílio da lâmina de um trator esteira, realizando o espalhamento e compactação do mesmo. (LANZA, 2006).

### **9.2.5 Espalhamento e Compactação dos Resíduos**

Os resíduos devem ser espalhados e compactados preferencialmente por um trator esteira com peso de no mínimo 15 toneladas, o equipamento de compactação é utilizado frequentemente exigindo que esteja a disposição sempre que necessário na operação do aterro sanitário.

A compactação deve ser feita em movimentos de baixo para cima, repetidas vezes, com no mínimo 6 vezes sucessivas em camadas sobrepostas, até que toda a camada esteja perfeitamente compactada, sempre verificando visualmente que o número de movimentos feitos não ocasione nenhuma diminuição do volume e densidade aparente do aterro. Deve ser realizado sempre que possível um teste da densidade dos resíduos compactada para analisar e verificar o controle da compactação (LANZA, 2006).

### **9.2.6 Recobrimento dos resíduos**

De acordo com Lanza (2006) ao fim da camada compactada de resíduos é recebido uma camada de terra espelhadas igualmente, com movimentos de baixo para cima. No dia posterior inicia-se uma raspagem de solo da face inclinada da frente de operação, o solo raspado é armazenado para ser aproveitado no final de outra camada de resíduos compactados. Este solo muitas vezes é proveniente do material excedente das operações executadas nas implantações de plataforma. A cobertura diária e final são necessárias para o bom funcionamento do aterro, sendo elas explicadas a seguir:

- **COBERTURA DIÁRIA:** deve ser executada com terra ou algum tipo de material inerte, variando sua espessura entre 15 a 20cm, com o intuito prevenir a ação do vento nos resíduos, a emissão de odores desagradáveis para população e a proliferação de vetores.

- **COBERTURA FINAL:** Finalizada a capacidade da plataforma do aterro, é realizada a cobertura final com uma camada de argila compactada com aproximadamente 60 cm de espessura, ou conforme estabelecido em projeto, em seguida deve realizar o plantio de gramíneas nos taludes e platôs para prevenir contra erosões.

## **10 DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO**

O dimensionamento do aterro sanitário consiste na determinação da geometria do mesmo. Para se garantir a eficácia ele deve ser realizado com cálculos projetando um aterro que minimize o volume e atenda as exigências para seu bom funcionamento e estabilidade, sem danos ao meio ambiente.

O aterro sanitário é composto de vários sistemas: de tratamento de lixiviado, de impermeabilização, de drenagem, entre outros. Cada sistema desses tem sua importância e contribui para o funcionamento do aterro como um todo.

### **10.1 IMPERMEABILIZAÇÃO**

#### **10.1.1 Impermeabilização da Base e Lateral**

A camada de impermeabilização da base deve impedir a disposição de resíduos no subsolo, a contaminação do lençol freático através de infiltração de águas da chuva ou substâncias tóxicas. Para desempenhar essa função de forma adequada, a camada de impermeabilização deve ser constituída de solo argiloso de baixa permeabilidade ou geomembrana sintética com espessuras corretas.

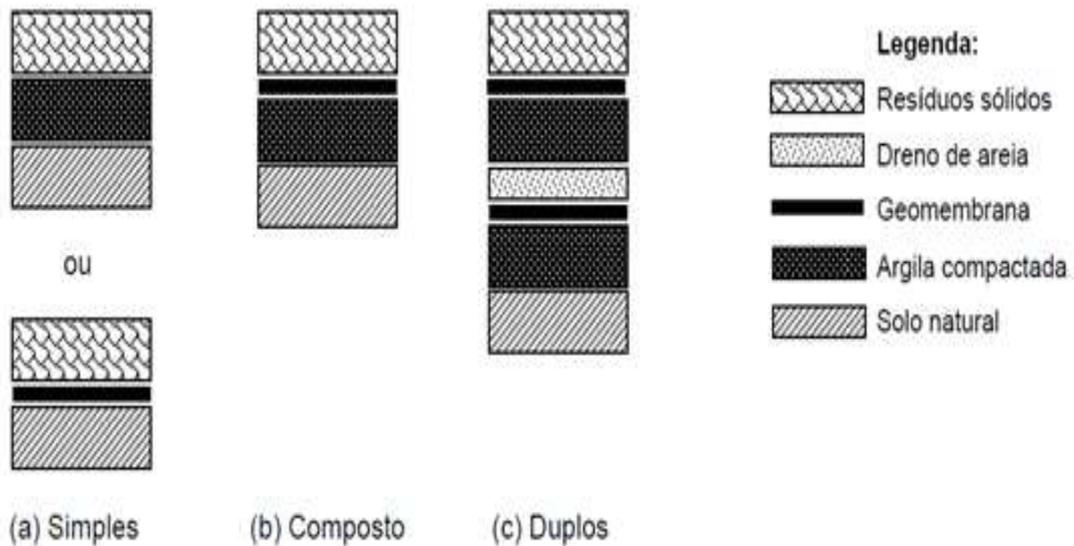
A impermeabilização da base pode ser feita utilizando solos argilosos de baixa permeabilidade (inferior a  $10^{-7}$  cm/s), ou com a utilização de geomembranas denominados revestimentos sintéticos (LANGE, 2006).

O sistema de impermeabilização precisa conter as seguintes características: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem dispostos (LANGE, 2006).

Os sistemas de impermeabilização inferior e lateral podem ser simples, compostos ou duplos. Os sistemas simples são aqueles constituídos somente por uma camada, usualmente de argila compactada. Os sistemas compostos são construídos por duas camadas colocadas uma por cima da outra de diferentes materiais, usualmente uma camada de argila compactada e uma camada de geomembrana, acredita-se que ocorra uma ótima aderência entre as duas camadas, assim elas funcionam como se fossem uma única camada. Os sistemas duplos são constituídos com duas camadas separadas por material drenante (areia ou geomalha) que tem a função de

coletar os líquidos ou gases que porventura passem pela camada impermeabilizante. Cada camada do sistema duplo pode ser simples ou composta (REICHERT, 2007).

**Figura 13- Sistemas de impermeabilização inferior (simples, composto e duplo)**

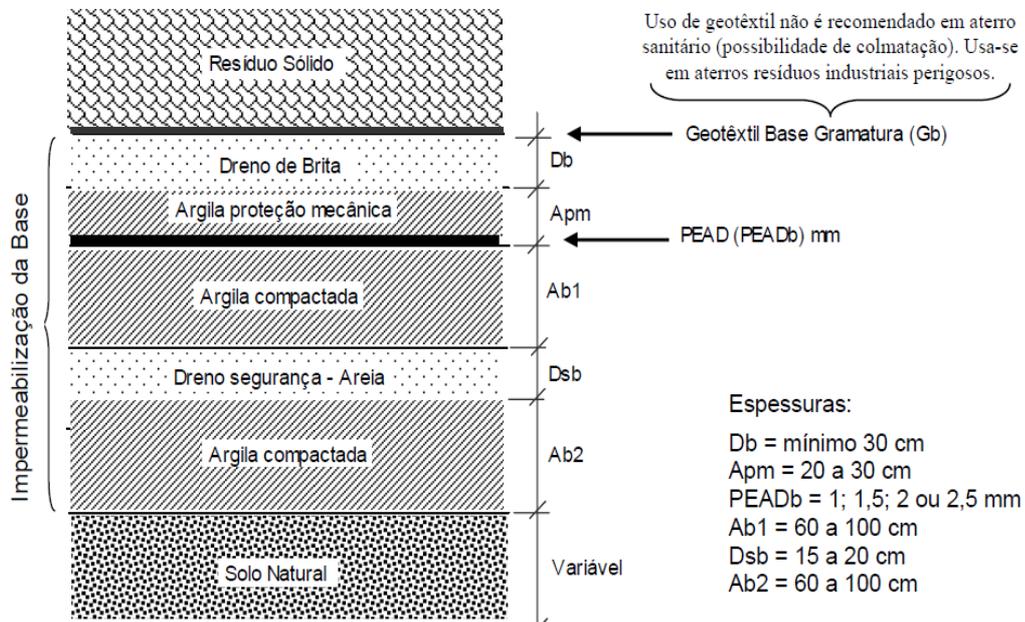


Fonte: REICHERT, 2007.

As normas brasileiras de aterros sanitários não exigem a instalação de geomembranas na base. No entanto, muitos órgãos ambientais estão exigindo o licenciamento do aterro com condições específicas (REICHERT, 2007).

Para que a impermeabilização seja eficaz, é necessário que seja colocado no aterro solos, drenos e manta PEAD, conforme espessuras recomendadas. Com o objetivo de proteger a geomembrana de danos que possam ser causados pela colocação do sistema de drenagem ou mesmo os resíduos é necessário colocar uma camada de 20 a 30 cm de qualquer tipo de solo. (REICHERT, 2007).

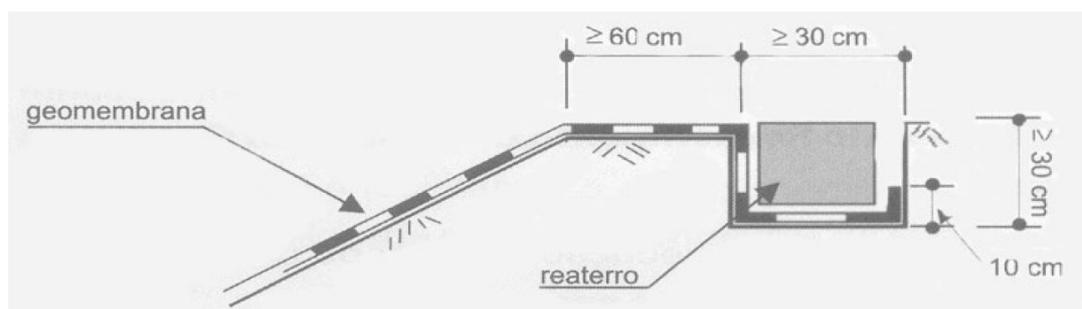
**Figura 14- Sistema de impermeabilização inferior**



Fonte: REICHERT, 2007.

É necessário um sistema de ancoragem para evitar o escorregamento ou ação do vento na geomembrana devendo ser ancorada conforme as dimensões de projeto nas bordas superiores dos taludes do aterro. O reaterro pode ser feito com o próprio solo escavado ou concreto, cuidadosamente para que não cause danos a mesma (REICHERT, 2007).

**Figura 15- Sistema de ancoragem**



Fonte: REICHERT, 2007.

### 10.1.2 Impermeabilização Superior

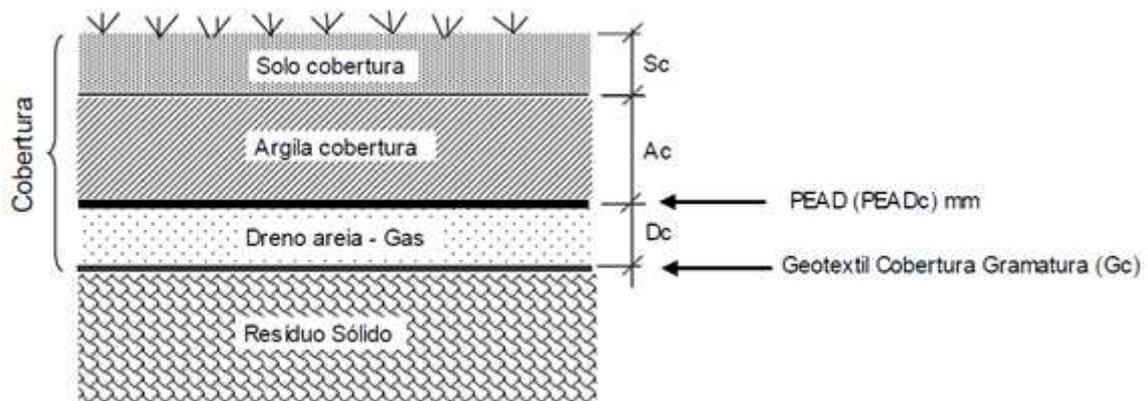
A impermeabilização superior tem como objetivo minimizar a infiltração de água da chuva, promover uma boa drenagem, separar os resíduos de vetores, insetos, roedores, minimizar a manutenção de longo prazo, melhorar a recuperação energética do biogás.

O sistema de cobertura final promove uma barreira para água e não para o lixiviado, sendo mais expostos a questões relacionadas a durabilidade e exposição de ressecamento de argila, erosão, escavação por animais e penetração de plantas (REICHERT, 2007).

De acordo Reichert (2007) a configuração de sistema de cobertura final deverá ter argila com uma espessura de 60 cm, compactada até uma permeabilidade da ordem de  $10^{-5}$  cm/s. A camada de cobertura com argila está acessível a fissuramento caso ocorra um recalque da massa de resíduos que está abaixo e por isso é indicada a utilização de barreiras mais flexíveis, como camadas compostas de argila e geomembranas.

Caso seja utilizada uma camada composta que constitui a argila mais geomembrana é necessário que abaixo dessas camadas seja colocado um dreno de biogás na horizontal, com espessura de 15 a 20 cm (RECHERT, 2007). De acordo com Lange et al. (2008) a cobertura deve possuir uma camada mínima de 60 cm de argila compactada e uma cobertura de solo vegetal de 20 cm.

**Figura 16- Componentes básicos de sistema de cobertura final**



Fonte: REICHERT, 2007.

## 10.2 POPULAÇÃO

Para ser ter uma estimativa do tamanho da área, e mesmo para auxiliar as etapas seguintes, é necessário estimar a população a geração de resíduos e o volume do aterro.

Para ser realizado os cálculos do número da população, é necessário o censo do IBGE para cada cidade. De acordo com o IBGE no último censo (2010), Jaraguá possui 41.870 habitantes, Jesúpolis 2.300 e São Francisco de Goiás 6.120, totalizando 50.290 habitantes.

Ainda de acordo com o IBGE, a estimativa para a população em 2018 em Jaraguá é de 49.667 habitantes, Jesópolis 2.474 e São Francisco de Goiás 6.260, totalizando 58.401 pessoas.

Com base nos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foi possível fazer uma estimativa da população nas três cidades objeto deste estudo para um período de 20 anos, conforme tabela 4:

**Tabela 4– Projeção da população das cidades de Jaraguá, Jesópolis e São Francisco**

Ano	População	Varição Percentual	Média Percentual	Fator Multiplicante
2010	50290	16,12845496	16,12845496	1,16128455
2018	58401	16,12845496		1,020160569
2019	59579			1,020160569
2020	60780			1,020160569
2021	62005			1,020160569
2022	63255			1,020160569
2023	64531			1,020160569
2024	65832			1,020160569
2025	67160			1,020160569
2026	68514			1,020160569
2027	69896			1,020160569
2028	71305			1,020160569
2029	72743			1,020160569
2030	74210			1,020160569
2031	75706			1,020160569
2032	77233			1,020160569
2033	78791			1,020160569
2034	80380			1,020160569
2035	82000			1,020160569
2036	83654			1,020160569
2037	85341			1,020160569
2038	87062			1,020160569

Fonte: Próprios Autores (2018).

- A variação percentual consiste em saber qual o percentual de aumento ou de diminuição de população em cada período. Sendo encontrada pela fórmula:  $V = ((P.P/P.A)*100) - 100$ , onde P.P= população posterior e P.A= população anterior;
- A média percentual é a média das variações de população por período. Sendo feita somando os valores da variação percentual e dividindo pela quantidade de valores;
- O fator multiplicante é o fator utilizado para multiplicarmos a população anterior por ele, afim de que tenhamos as próximas populações procuradas. Sendo encontrado pela fórmula  $F.M = 1 + (Média Percentual / 100)$ .
- Para saber qual o fator multiplicante a partir do ano de 2019, é realizada a divisão do fator multiplicante dos anos de 2010 a 2018 por 8, pela fórmula  $F.M.novo = F.M/8$
- Para cálculo da população a partir do ano de 2019, foi multiplicado o fator multiplicante já dividido por 8 pela população anterior.

Para o dimensionamento do aterro sanitário objeto desse estudo, será considerada uma vida útil de 20 anos. Conforme demonstrado na tabela acima, a população para uma projeção de um aterro de 20 anos considerando as três cidades é de 87.062 habitantes.

### 10.3 VOLUME DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Para prosseguir com o dimensionamento do aterro, é necessário ter uma estimativa da quantidade de lixo que será descartado nele ao longo de sua vida útil, que será de 20 anos conforme recomendação da Funasa (2015).

O previsão de resíduos a serem levados para o aterro leva em consideração a média de resíduos produzidos por habitante e a projeção de crescimento populacional calculada na tabela anterior. Os resultados são mostrados na tabela 5:

**Tabela 5 – Projeção do Volume dos Resíduos Sólidos**

Ano	População	Geração Per Capita (kg/hab/dia)	Cobertura de Coleta (%)	Massa (Kg/Dia)	Volume dos Resíduos (m <sup>3</sup> /dia)	Volume dos Resíduos ( m <sup>3</sup> /ano)	Volume dos Resíduos Acumulado (m <sup>3</sup> )
2018	58401	1	100	58401	77,86	28421,82	28421,82
2019	59579	1	100	59579	79,43	28995,11	57416,93
2020	60780	1	100	60780	81,04	29579,60	86996,53
2021	62005	1	100	62005	82,73	30175,77	117172,3
2022	63255	1	100	63255	84,34	30784,10	147956,4
2023	64531	1	100	64531	86,04	31405,09	179361,5
2024	65832	1	100	65832	87,77	32038,24	211399,7
2025	67160	1	100	67160	89,54	32684,53	244084,3
2026	68514	1	100	68514	91,35	33343,48	277427,7
2027	69896	1	100	69896	93,19	34016,05	311443,8
2028	71305	1	100	71305	95,07	34701,77	346145,8
2029	72743	1	100	72743	96,99	35401,59	381547,2
2030	74210	1	100	74210	98,95	36115,53	417662,7
2031	75706	1	100	75706	100,94	36843,59	454506,3
2032	77233	1	100	77233	102,98	37586,73	492093,0
2033	78791	1	100	78791	105,05	38344,95	530438,0
2034	80380	1	100	80380	107,17	39118,27	569556,2
2035	82000	1	100	82000	109,33	39906,67	609462,0
2036	83654	1	100	83654	111,54	40711,61	650174,5
2037	85341	1	100	85341	113,79	41532,62	691707,1
2038	87062	1	100	87062	116,08	42370,17	734077,3

Fonte: Próprios Autores (2018).

- No Brasil, de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a soma de resíduos domésticos e resíduos públicos varia entre 0,10 e 2,53 kg/hab.dia e tem uma média de 1 kg/hab.dia;
- Considerando a geração per capita de resíduos de 1 kg/habitante/dia;

- A cobertura de coleta será de 100%;
- A massa diária é o resultado da multiplicação da população pela geração per capita, resultando em uma massa em kg/dia;
- $M = (\text{População} * \text{Geração per capita}) = (\text{kg} / \text{dia})$ ;
- O volume diário dos resíduos é calculado a partir da massa diária que chega ao aterro, em kg/dia ou t/dia;
- A densidade dos resíduos que é dada em  $0,75 \text{ t/m}^3$ ;
- Para a transformação de kg para T é realizada a divisão da massa por 1000;
- Para o cálculo do volume dos resíduos é realizada a divisão da massa pela densidade dos mesmos, através da fórmula é  $\text{Vol.DIÁRIO} = ((\text{massa}/1000) / 0,75)$ .
- O volume anual dos resíduos é calculado realizando a multiplicação de volume diário pela quantidade de dias no ano respectivo;
- $\text{Vol. ANUAL} = (\text{Vol.DIÁRIO} * 365)$ ;
- O volume dos resíduos sólidos acumulado é a somatória do Volume anual.

Conforme calculado, o volume do aterro sanitário em 20 anos é de  $734077,3 \text{ m}^3$ , considerando + 20% do volume calculado para cobertura intermediária e final do aterro, o volume final do aterro em 20 anos será de:  $(734077,3 * 1,2) = 880892,76 \text{ m}^3$ .

#### 10.4 CÁLCULOS DAS TRINCHEIRAS

De acordo com a Funasa (2015) em aterros com impermeabilização por manta plástica sintética PEAD, a distância do lençol freático à manta não pode ser inferior a 1,5 metros. Para saber qual é a profundidade do lençol freático do local que o aterro foi escolhido para ser construído seria necessário a realização de sondagem no local, que determinaria também o tipo de solo, o que é inviável neste trabalho, podendo ser realizado caso o mesmo tenha prosseguimento.

Será adotado no dimensionamento que o nível do lençol freático se encontra inicialmente ao nível da nascente mais próxima indicada no projeto, seguindo paralelamente ao nível natural do terreno, conforme as curvas de nível, considerando que a nascente mais próxima encontra-se a 306 metros do aterro e sua elevação em relação ao nível do mar coletada pelo Google Earth Pro é de 682 m, e que a cota mais baixa da área do aterro é de 701 metros,

coletado pelo Google Earth Pro. Desta forma obtem-se um nível de água de 19 metros de profundidade neste local.

De acordo com Reichert (2007) a altura da camada do aterro varia de 3 a 5 metros. Será adotado 5 metros de profundidade para as trincheiras, restando ainda 14 metros de distância entre a manta e o nível de água subterrânea.

Levando-se em conta a geometria do terreno, bem como o princípio de que a célula retangular é mais prática e simples de se executar, e que exige um menor volume de terra de cobertura diária, foi adotado esse tipo de célula para o presente trabalho.

Para determinar a quantidade de trincheiras necessárias, foi adotado um tempo médio para cada trincheira de 1 ano, de acordo com recomendações da Funasa, portanto, como o aterro está sendo projetado para 20 anos, foram projetadas 20 trincheiras.

Para cálculo das dimensões de cada célula, o volume total do produzido pelas três cidades durante esse período foi dividido pelo número de trincheiras, encontrando assim o volume médio estimado para cada trincheira de 44044,64 m<sup>3</sup>.

Com a profundidade e o volume para cada trincheira definidos foi possível determinar a área necessária para acomodação dos resíduos.

Para cálculo da área necessária foi usado a seguinte fórmula:

$$Ac = \frac{Vc}{h} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

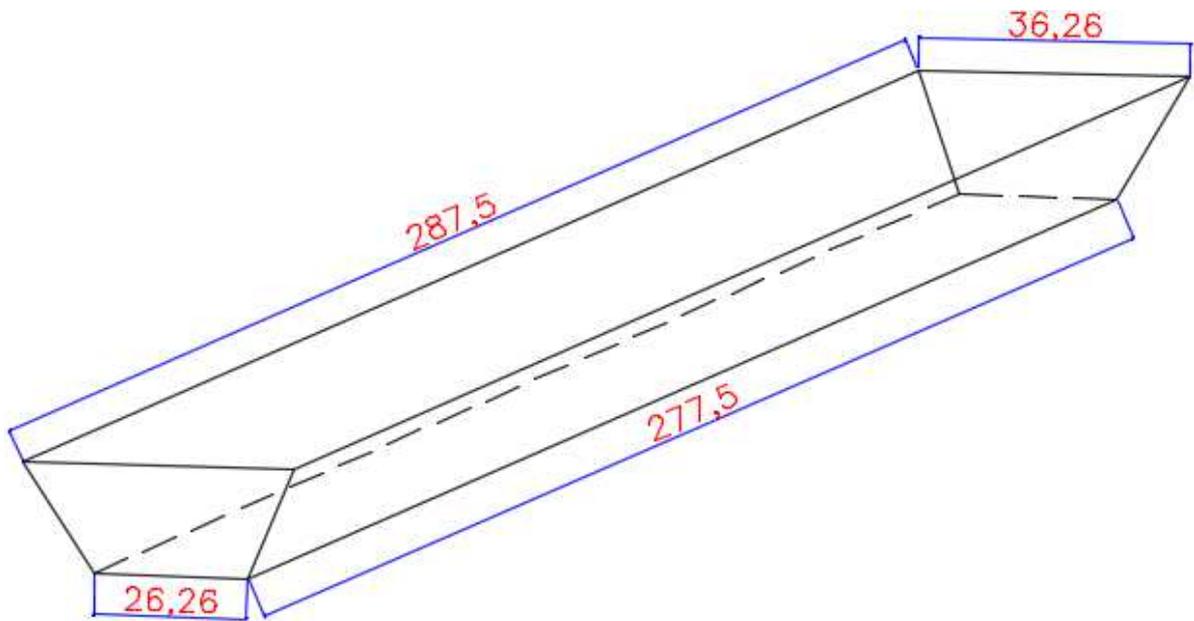
Ac = Área da Célula (m<sup>2</sup>);

Vc = Volume Compactado;

h = é a altura da célula (m).

A área encontrada foi de 8.808,93 m<sup>2</sup>, com esses dados e com as informações sobre o espaço destinado a construção do aterro foi possível determinar a largura e comprimento de cada trincheira, como demonstrado na figura 17.

**Figura 17-Desenho esquemático da trincheira e com suas respectivas dimensões**



Fonte: Próprios autores, 2018.

Adotando um talude de 1:1 e altura de 5 metros, a largura sofrerá um aumento de 5 metros no topo da abertura para cada lado, essa proporção foi escolhida a fim de garantir uma maior estabilidade do talude, levando-se em conta que algumas trincheiras será preciso a realização tanto de corte quanto aterro devido a topografia do local.

Como a geometria do terreno é plana e com formato retangular, todas as trincheiras foram projetadas com as mesmas dimensões, sem que houvesse necessidade de mudança de tamanho entre elas.

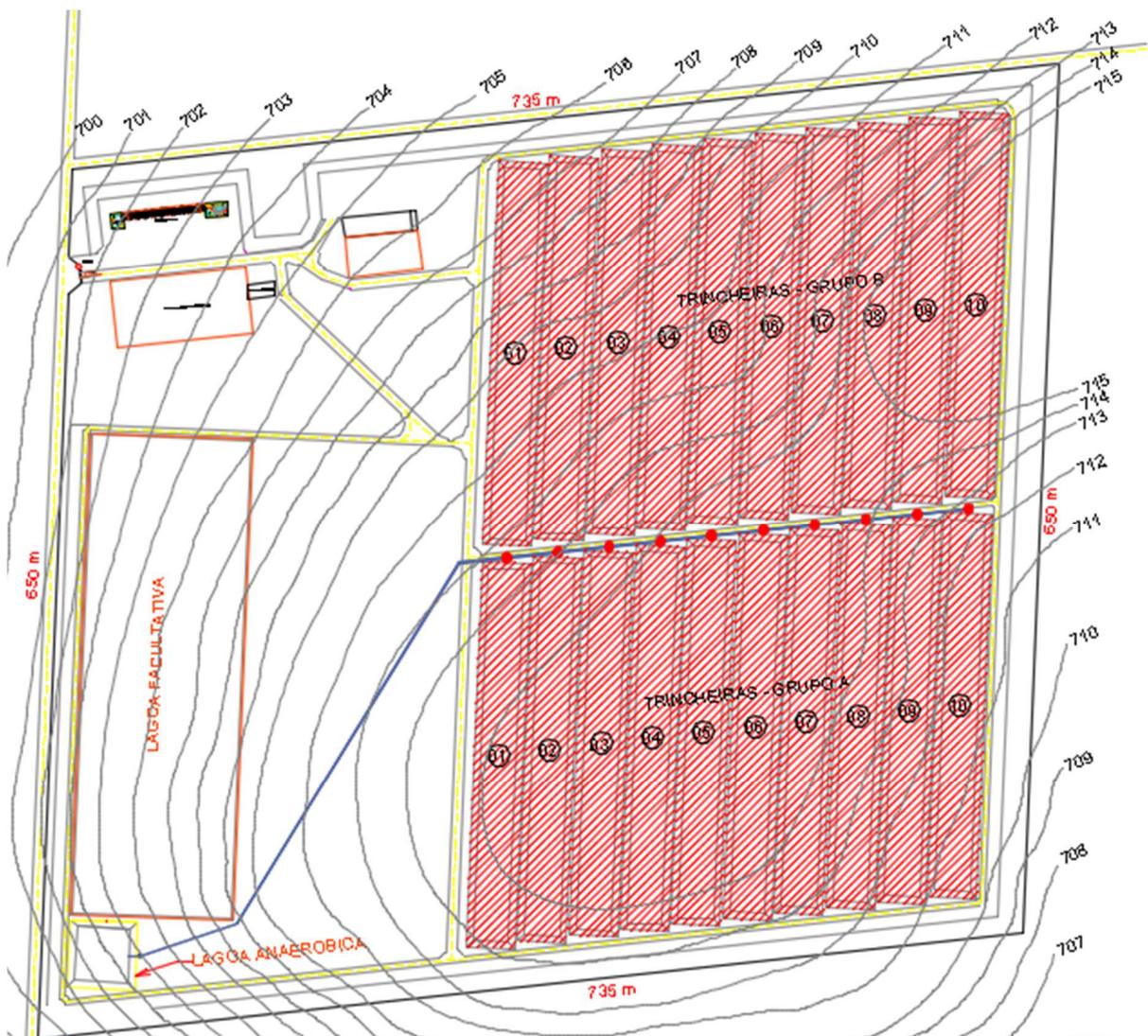
#### **10.4.1 Posicionamento das Trincheiras no Aterro**

As trincheiras devem ser posicionadas com espaço entre elas para a manobra e trânsito do caminhão que descarta os resíduos e com no mínimo 7 metros das laterais do terreno. No presente projeto, as mesmas foram posicionadas centralizadas paralelamente à linha de fundo do terreno com uma distância entre elas de 1 metro e meio na horizontal e de 7 metros na vertical, para que seja possível acesso de máquinas e equipamentos entre elas além, além de instalação de tubulações de drenagem caso seja necessário. Foi deixado um espaçamento maior nas laterais e no fundo para a drenagem e circulação de equipamentos, além de uma faixa de cinturão verde ao redor do aterro.

A disposição simétrica das trincheiras facilitará os trabalhos e colabora para o melhor aproveitamento do espaço do aterro.

As trincheiras foram posicionadas em duas fileiras de 10 trincheiras cada, conforme mostrado na figura 18.

**Figura 18 - Desenho esquemático da disposição das trincheiras**



Fonte: Próprios autores, 2018.

## 10.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM

### 10.5.1 Drenagem do Lixiviado

O lixiviado é o líquido oriundo da hidrólise dos compostos orgânicos e da umidade do sistema, conforme os tipos de resíduos que existem no local, o tempo do aterro, o clima, a hidrologia e geologia do local. O lixiviado possui alta carga orgânica, estando presentes no mesmo o nitrogênio, amônia, metais pesados e bactérias.

O sistema de drenagem do lixiviado será do tipo espinha de peixe. É preciso dimensionar tanto os drenos internos, quanto os externos que levarão todo o lixiviado produzido para ser tratado.

#### 10.5.1.1 Cálculo da Vazão do Lixiviado

Para se obter a vazão do lixiviado, foi usada a fórmula do Método Suíço mostrada por Rocca et al. (1979), para casos onde ocorre a falta de dados para aplicação de modelos de fórmulas de balanço hídrico, podendo ser feito nesses casos por metodologias simplificadas. Essa fórmula é calculada em função da área do aterro, da precipitação anual e do grau de compactação dos resíduos.

$$Q = \frac{1}{t} P * A * K \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$Q$  = vazão média do lixiviado ( $l^3/s$ );

$P$  = precipitação média anual (mm);

$A$  = área da trincheira ( $m^2$ );

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

$K$  = coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos, com valores recomendados a partir da observação experimental.

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

**Tabela 6– 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).

Cálculos:

- Considerando a compactação dos resíduos de 0,8 t/m<sup>3</sup>, obtem-se que o K varia de 0,15 a 0,25, como o autor não especifica os fatores que influenciam na escolha desse coeficiente, será adotado o valor de 0,25;
- Um ano possui 31536000 segundos;
- De acordo com o site Clima-data.org a precipitação média anual da região é de 1606 mm;
- As dimensões da parte superior da trincheira são de 287,5 x 36,26 totalizando uma área de 10.424,75 m<sup>2</sup>;
- Substituindo os valores na fórmula obtemos a vazão de 0,1327 l/s.

#### 10.5.1.2 Cálculos para os Drenos (tubos) do Lixiviado

De acordo com JUNIOR (2003) a seção dos tubos internos de drenagem pode ser calculado pela seguinte fórmula.

$$Q = A * V \quad \text{Equação (3)}$$

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).

De acordo com Junior (2003) a velocidade de escoamento dentro da faixa é de 1 a 5 m/s.

Cálculos:

- Usando a vazão estimada nos cálculos anteriores de  $1,327 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- A velocidade de escoamento será de  $2 \text{ m/s}$ , a mesma que o autor usa em seus cálculos;
- Encontra-se a área de  $6,635 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ;
- Com a fórmula da área descrita acima encontra-se o raio de  $4,59 \times 10^{-3} \text{ m}$ ;
- Sabendo –se que o diâmetro é duas vezes o raio, multiplica-se o raio por 2 e em seguida por 1000, para encontrar o diâmetro em mm;
- O resultado do diâmetro é de  $9,19 \text{ mm}$ .

Segundo Junior (2003), é adequado adotar um diâmetro comercial, para os tubos de dreno de lixiviado. Considerando que o diâmetro de  $40 \text{ mm}$  é suficiente, adotaremos esse diâmetro para os tubos de dreno interno longitudinal da trincheira.

#### 10.5.1.3 Espaçamento entre os Drenos (tubos) internos do Lixiviado

O espaçamento existente entre os demais drenos deve ser calculado para que a altura da lâmina líquida de lixiviados não ultrapasse a altura máxima desejada, conforme a NBR 13.896 (1997) não pode ultrapassar  $30 \text{ cm}$ . Adotando o esquema da espinha de peixe o espaçamento entre os drenos pode ser encontrado pela seguinte equação (DANIEL, 1993 apud REICHERT, 2007).

$$L = \frac{2h_{m\acute{a}x}}{c^{\frac{1}{2}} * \left( \left( \frac{\tan^2 \emptyset}{c} \right) + 1 - \left( \frac{\tan \emptyset}{c} * (\tan^2 \emptyset + c)^{\frac{1}{2}} \right) \right)} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$L$  = espaçamento entre drenos de lixiviados (m);

$h_{m\acute{a}x}$  = altura máxima da lâmina de lixiviado entre drenos adjacentes (m);

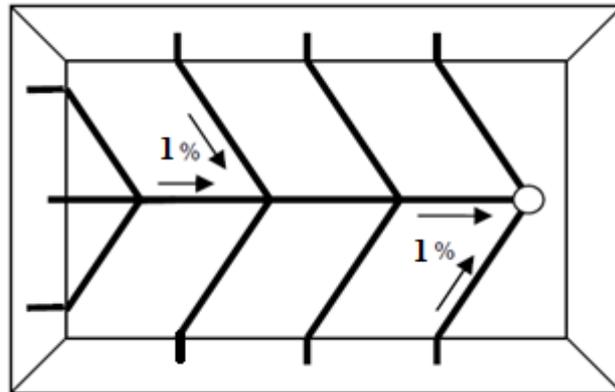
$\emptyset$  = ângulo de declividade entre drenos (graus);

$c = q/k$  (vazão específica/permeabilidade), (adimensional);

$q$  = intensidade de infiltração/percolação (ou vazão específica) ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{s}$ );

$k$  = condutividade hidráulica (permeabilidade) dos RSU compactados (m/s).

Figura 19 – Esquema de drenagem do lixiviado



Fonte: REICHERT, 2007.

Cálculos:

- O ângulo de declividade é de  $0,573^\circ$ , foi adotado a inclinação de 1%, pois Reichert (2007) recomenda que para permitir melhores condições de escoamento do lixiviado a declividade deve ser maior que 1% ou 2%;
- Conforme Barros *apud* Reicher (2007) a permeabilidade dos resíduos compactados apresentam uma variação de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/s, adotaremos  $10^{-4}$  cm/s;
- Dividindo a vazão  $1,327 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s pela área da trincheira de 10.424,75m<sup>2</sup>, encontra-se a vazão específica de  $1,27 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.s;
- Com a vazão específica encontra-se a relação vazão específica/ permeabilidade que é de  $1,27 \times 10^{-4}$ ;
- Substituindo os valores encontrados pela formula anterior encontra-se que o espaçamento máximo entre os drenos é de 33,8 metros;
- Como a área entre cada um desses drenos será menor ainda que a área da trincheira calculada anteriormente, não é necessário fazer o cálculo para saber o diâmetro, será adotado o de 40 mm.

Serão distribuídos 10 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 28,5 m.



O lixiviado que sai dos drenos interiores deve ser levado até o sistema de tratamento com inclinação de 1 %, passando a tubulação pela manta PEAD por meio de um flange, a tubulação vai para um poço pré-fabricado de concreto com 1 metro de diâmetro, este poço deverá ser revestido com 2mm de manta PEAD e ser interligado a uma tubulação para que todo lixiviado da trincheira chegue no mesmo local (JUNIOR, 2003).

O lixiviado total da trincheira é drenado até este poço e em seguida é encaminhado para a estação de tratamento através de uma tubulação, para saber o diâmetro dessa tubulação que recebe o lixiviado, é necessário calcular a vazão total da trincheira.

- Serão 20 trincheiras com dimensões de 287,5x36,26;
- Área das trincheiras será de 208.495 m<sup>2</sup>.

Substituindo na seguinte equação, com os mesmos dados calculados anteriormente, alterando somente a área:

$$Q = \frac{1}{t} P * A * K \quad \text{Equação (2)}$$

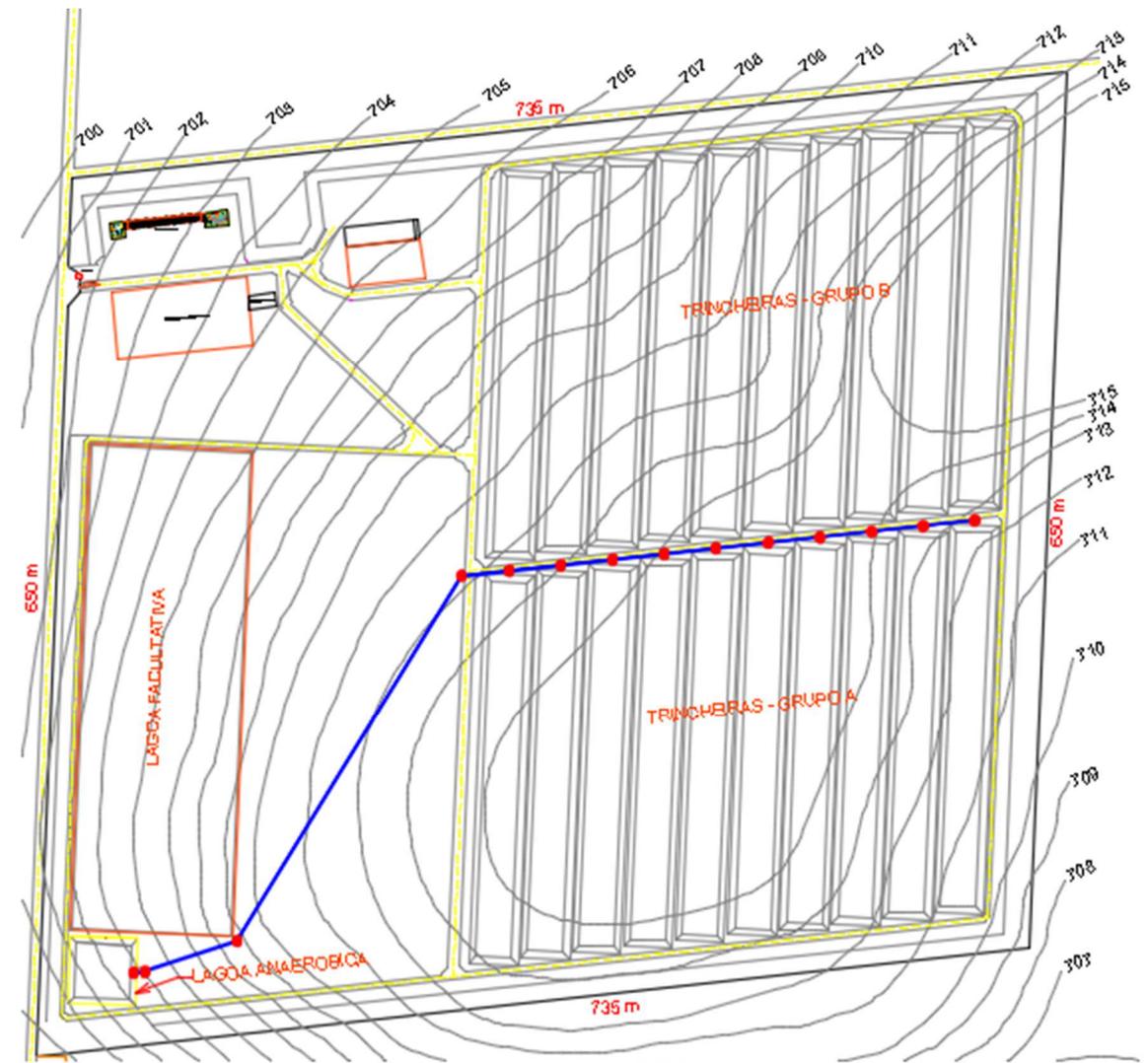
A vazão encontrada é de 2,65 l/s.

Para encontrarmos o diâmetro dessa tubulação substituímos os valores na seguinte equação, alterando somente a vazão e utilizando os mesmos dados do cálculo anterior:

$$Q = A * V \quad \text{Equação (3)}$$

O diâmetro encontrado é de 19,4 mm, mas usaremos no sistema 150 mm para que tenha um melhor escoamento e para facilitar caso ocorra alguma manutenção futura. Com a profundidade da trincheira essa tubulação chegará profunda ao local de tratamento, mas devido a diferença de nível do terreno, não será necessário o uso de uma estação elevatória, pois será possível que o sistema funcione apenas por gravidade, o que elimina riscos de falhas e diminui a necessidade de manutenção.

Figura 21- Posição dos drenos de lixiviado



Fonte: Próprios autores, 2018.

### 10.5.2 Drenagem do Biogás

Normalmente, adota-se um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos, assim, os drenos verticais possuem diâmetros que variam de 50 cm a 100 cm, podendo chegar a 150 cm, sendo preenchidos com rocha brita 3, 4 ou 5. A distribuição em planta dos drenos verticais de gases é feita considerando um raio de influência, ou de captação de biogás, de cada dreno, variando entre 15 a 30 m (REICHERT, 2007).

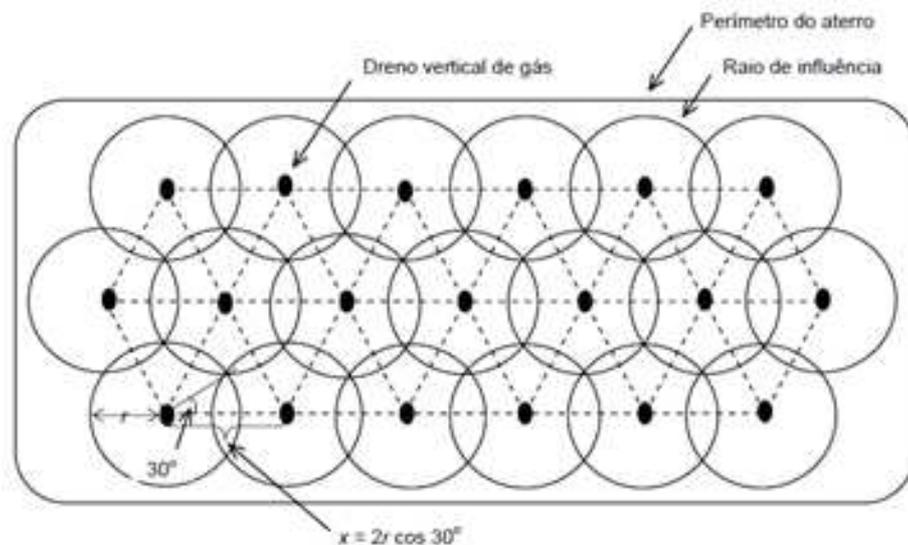
Os drenos verticais devem estar conectados com os drenos de lixiviados que estão na base, para que possa garantir a interconexão entre eles (REICHERT, 2007). Os mesmos devem

estar colocados atravessando verticalmente o aterro até a superfície, caracterizando assim chaminés de exaustão. Usualmente são manilhas de concreto armado, podendo ser usado outros tipos de materiais. São previstos queimadores de gases, colocados nas extremidades superiores das chaminés, destinados a possibilitar a queima controlada dos gases (JUNIOR, 2003).

Os drenos de biogás serão construídos com brita 5 dispostas dentro de uma malha. Será adotado um raio de influência de 25 m e um diâmetro de 100cm.

A fórmula para calcular o espaçamento entre os drenos de acordo com Tchobanoglous (1993) apud Reichert (2007) é apresentada na figura a seguir:

**Figura 22- Distribuição triangular equidistante para drenos verticais de gás**



Fonte: TCHOBANOGLIOUS, 1993 *apud* REICHERT, 2007.

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

Equação (5)

Onde:

x = espaçamento entre os drenos.

r = raio de influência adotado;

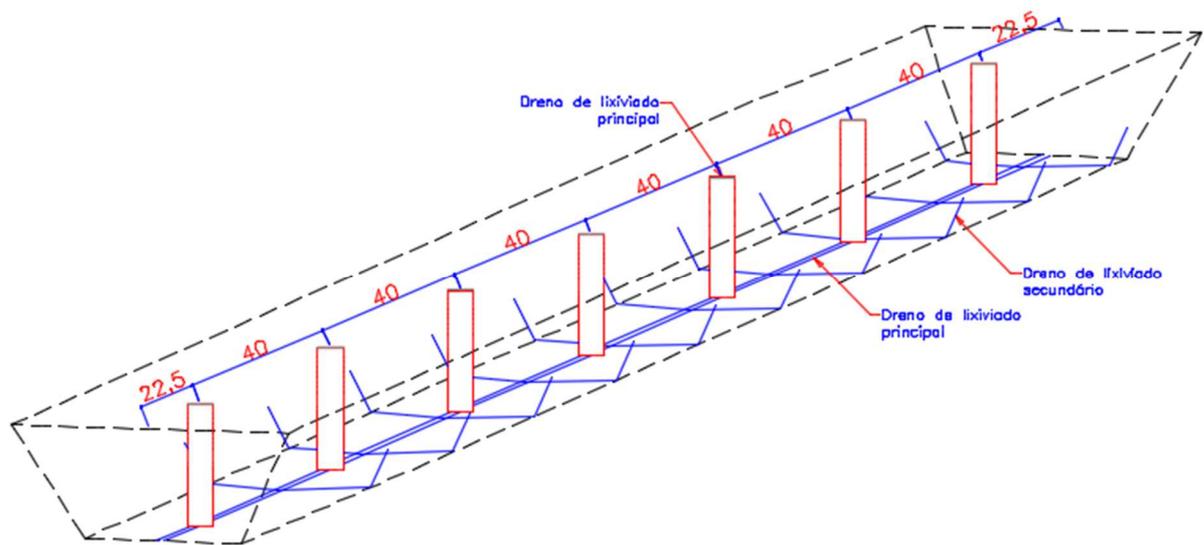
Cálculos:

- Substituindo o raio adotado de 25 metros na fórmula, obtemos que o espaçamento máximo entre os drenos é de 43,30 metros.

Seguindo a recomendação de Junior (2003) os drenos serão dispostos sobre a rede de drenagem de lixiviado, atravessando verticalmente o aterro até sua superfície.

Serão colocados 7 drenos para melhor eficiência na captação do biogás, a distância entre eles será de 40 m e a distância da borda da trincheira até o dreno será de 22,5 na parte inferior da trincheira.

**Figura 23- Posição dos drenos verticais de gás**



Fonte: Próprios autores, 2018.

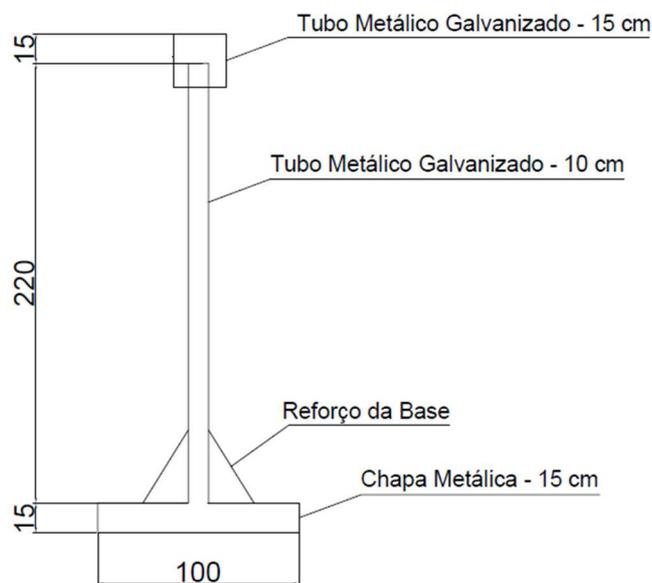
## 10.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

### 10.6.1 Tratamento do Biogás

O dreno de biogás será de 100 cm conforme adotado anteriormente, nele será colocado um queimador para reduzir a emissão de substâncias prejudiciais ao meio ambiente.

Na figura seguinte está representado um queimador similar ao fornecido por Reichert (2007):

**Figura 24- Queimador biogás**



Fonte: Próprios autores, 2018.

O queimador será colocado apoiado sobre o dreno do biogás, assim quando a trincheira for preenchida todo o biogás passará pelo tubo galvanizado de 10 cm e logo após entrará em combustão.

### 10.6.2 Tratamento do Lixiviado

O lixiviado gerado em aterros deve ser tratado, sendo este, um dos processos mais importante do aterro, pois apresentam elevada concentração de poluentes caracterizadas por altas DBO, DQO,  $\text{NH}_4$  e baixo pH. Em decorrência dessa alta demanda bioquímica de oxigênio, ele não pode ser depositado no ambiente da forma como sai das trincheiras. O Decreto nº 8.468/1976 diz que a carga orgânica para lançamento do lixiviado em corpos d'água deve ser inferior a 60mg/L.

A determinação do melhor tratamento para o lixiviado não é simples, pois a princípio todos os processos existentes podem ser aplicados, entretanto as eficiências variam de processo para processo e de lixiviado para lixiviado, sendo assim algumas características ajudam na escolha do tratamento como: as variáveis ambientais, os custos, a disponibilidade de área para implantação da estação de tratamento, entre outros.

Para que seja atendido o decreto, utilizando meios que reduzam a DBO e as outras composições, Reichert (2007) diz que é necessário o uso de lagoas anaeróbias e facultativas, sendo assim o sistema de tratamento dos lixiviados do presente trabalho será o mesmo proposto por Reichert (2007).

#### 10.6.2.1 Lagoa Anaeróbia

O lixiviado antes de chegar à lagoa anaeróbia primária, irá passar por um gradeamento para evitar que sólidos passem pelas tubulações e fiquem retidos, levando ao entupimento das tubulações, em seguida será encaminhado para a lagoa.

O sistema de impermeabilização das lagoas será do tipo composto, com uma camada de manta PEAD de 2 mm e uma camada de argila de 70 cm.

A lagoa anaeróbia tem menor volume e maior profundidade. A sua eficiência na remoção de DBO é de 40% a 50%. A DBO remanescente é retirada na lagoa facultativa.

É possível dividir a degradação anaeróbia em fases, sendo possível determinar a idade do aterro em relação a degradação biológica. As três fases são: Fase ácida, que é quando o aterro é jovem e possui alto grau de carga orgânica e tem a geração de ácido graxos voláteis, a segunda fase é a metanogênica, onde ocorre a geração do gás metano, pH, caracterizando um aterro velho, e a última fase é de maturação onde as emissões diminuem para valores mínimos caracterizando um aterro estabilizado (REICHERT, 2007).

A DBO é reduzida com o passar do tempo pois os compostos orgânicos que elevam a mesma na fase ácida são quase todos consumidos e convertidos a gases no próprio aterro (SOUTO, 2009).

Conforme estudos de Souto (2009) em aterros sanitários, foi constatado que em 80% dos casos existe uma DBO de entrada, ou seja cargas orgânicas de cerca de 25.400 mg/L na fase ácida do aterro e cerca de 6.000 mg/l na fase metanogênica, sendo que a fase ácida ocorre de 3 meses a 3 anos num aterro sanitário e a fase metanogênica acontece de 8 anos a 40 anos.

A lagoa anaeróbia precisa ser capaz de tratar o lixiviado no pior caso será quando a última trincheira for concluída, sendo assim serão 3 trincheiras para a fase ácida e 17 para a fase metanogênica.

Para calcular as dimensões da lagoa é preciso ter a vazão de lixiviados e adotar a sua concentração de DBO, segundo Reichert (2007) ele pode ser calculado com a seguinte fórmula:

$$L = \frac{Q \cdot S_o}{1000} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

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

$Q$  = vazão média (m<sup>3</sup>/d);

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

Cálculos:

- A vazão média calculada anteriormente nos drenos é de 2,65 l/s, sendo 228,960 m<sup>3</sup>/dia;
- Na fase ácida serão 3 trincheiras de 287,5x36,26 totalizando uma área de 31.274,25 m<sup>2</sup>;
- Na fase metanogênica serão 17 trincheiras de 287,5x36,26 totalizando uma área de 177.220,75 m<sup>2</sup>;
- Calculando a vazão de ambas fases pela fórmula  $Q = \frac{1}{t} P * A * K$  encontra-se a vazão na fase ácida de 34,4 m<sup>3</sup>/dia e na fase metanogênica de 194,94 m<sup>3</sup>/dia;
- Substituindo as vazões encontradas e as cargas orgânicas correspondentes na equação para saber a carga afluyente, encontra-se a carga afluyente de DBO referente à fase ácida e à fase metanogênica, sendo de 873,76Kg.DBO/d e 1.169,64Kg.DBO/d respectivamente, totalizando 2.043,4 Kg.DBO/d;
- Isolando o  $S_o$  da fórmula e substituindo o total das vazões das duas fases de 229,34 m<sup>3</sup>/dia e o total da carga afluyente encontrada de 2.043,4 encontra-se a DBO de entrada (efluente) de 8909,91 mg/l.

O volume da lagoa anaeróbia depende da taxa de aplicação volumétrica que varia de 0,1 a 0,3 Kg.DBO5/m<sup>3</sup>.d, conforme a temperatura do local, quanto maior a temperatura, maior será a taxa. Levando em conta que o clima da cidade de implantação do aterro é tropical, o valor da taxa será de 0,25 Kg.DBO5/m<sup>3</sup>.d.

Segundo Reichert (2007) o volume pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$L = \frac{L}{Lv} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

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

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

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

Cálculos:

- Substituindo os valores na equação acima onde a carga de DBO aplicada é de 2.043,4 Kg DBO/d e a taxa de aplicação volumétrica de 0,25 Kg.DBO5/ $m^3$ .d, encontramos o volume de 8.173,6  $m^3$ .

O tempo de detenção hidráulica  $t$  (em dias) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

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

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

$Q$  = vazão ( $m^3$ /d).

Calculando:

- Substituindo valor da vazão de 229,34  $m^3$ /dia e o volume da lagoa de 8.173,6  $m^3$  o tempo de detenção hidáulica é de 36 dias.

A profundidade da lagoa anaeróbia pode ser de 3 a 5 metros, as dimensões das mesmas podem ser com relação comprimento /altura, quadrada e retangular. Com a área é possível encontrar o comprimento e a largura da lagoa (REICHERT, 2007).

Segundo Reichert (2007) para encontrar a área é necessário adotar a profundidade da mesma, adotaremos 5 metros, o cálculo da área pode ser feito pela seguinte fórmula:

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

Equação (9)

Onde:

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

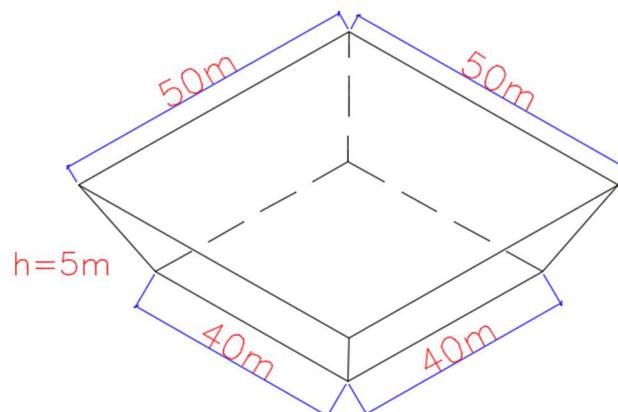
h = altura adotada (m);

A = área necessária (m<sup>2</sup>).

Cálculos:

- Substituindo o valor do volume de 8.173,6 m<sup>3</sup> e a altura adotada de 5 m, a área encontrada é de 1.634,72 m<sup>2</sup>;
- Nas lagoas, a inclinação dos taludes também terá relação altura/largura de 1:1, assim como as trincheiras;
- A lagoa anaeróbia (figura 25), possui 50 m de comprimento 50 m de largura e 5 metros de altura.

**Figura 25- Lagoa Anaeróbia**



Fonte: Próprios autores, 2018.

Como descrito anteriormente a eficiência da lagoa na remoção de DBO é de 40% a 50%, adotaremos que a eficiência para o presente trabalho será a de 50%.

De acordo com Reichert (2007) eficiência pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Equação (10)

Onde:

$E$  = eficiência;

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

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

Já adotando a eficiência de 50% e substituindo o valor da carga de efluente de 8.909,91 mg/l e a carga afluyente 2.043,4 (Kg DBO/d), com esses valores é obtido a eficiência da carga efluente de 4454,95 mg/l.

#### 10.6.2.2 Lagoa Facultativa

Após passar pela lagoa anaeróbica, o lixiviado é encaminhado para a lagoa facultativa, que vai continuar o processo de tratamento do mesmo.

A DBO solúvel é particulada e estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido e a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese (REICHERT, 2007).

A lagoa facultativa possui uma profundidade pequena e grande área. Conforme Reichert (2007) é possível calcular a carga afluyente de DBO (kg DBO/d) pela seguinte fórmula:

$$L = \frac{Q \cdot S_o}{1000} \quad \text{Equação (6)}$$

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 anaeróbica).

Cálculos:

- Substituindo os valores da somatória da vazão encontrada anteriormente na lagoa anaeróbica de 229,34 e o valor da DBO efluente de 4454,95 mg/l, a carga afluyente da lagoa facultativa é de 1.021,7 (Kg DBO/d).

De acordo com Reichert (2007) a área da lagoa facultativa é calculada pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{L}{Ls} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

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

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

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

Para prosseguimento dos cálculos é necessário encontrar a taxa de aplicação superficial, segundo Reichert (2007) para regiões de inverno e insolação moderados o  $Ls$  varia de 120 a 240 kg DBO/ha.d, o valor adotado será de 240 kg DBO/ha.d.

Cálculos:

- Substituindo o valor da carga afluyente de 1.021,7 (Kg DBO/d) e o valor de  $Ls$  adotado de 240 kg DBO/ha.d, a área da lagoa facultativa será de 4,257 ha ou 42.570,83 m<sup>2</sup>.

São propostas profundidades  $h$  adequadas para promover entrada de luz solar nas lagoas, recomenda-se, então, que sejam utilizadas alturas que variam de 0,6 a 1,2 m (REICHERT, 2007).

Adotando uma altura de 1,2 m, calcula-se o volume com a seguinte equação:

$$V = A * h \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

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

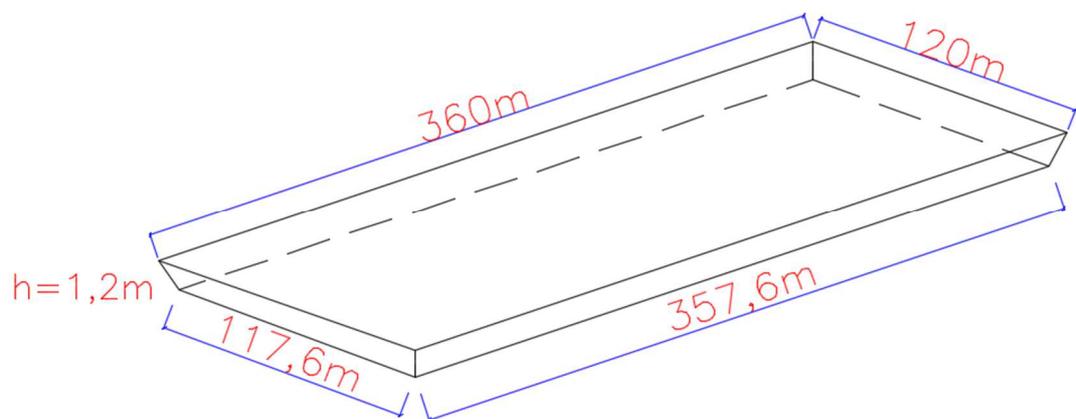
$h$  = altura adotada (m);

$A$  = área necessária (m<sup>2</sup>).

Cálculos:

- Substituindo o valor adotado para a altura de 1,2 m e área calculada anteriormente 42.570,83 m<sup>2</sup>, a lagoa possui um volume de 51.085 m<sup>3</sup>.
- Reichert (2007) recomenda que as dimensões da lagoa facultativa devem variar de 2,5:1 a 4:1 (comprimento/largura), será adotado 3:1, sendo assim a lagoa ficará com 360 m de comprimento e 120 m de largura.

**Figura 26- Lagoa Facultativa**



Fonte: Próprios autores, 2018.

O tempo de detenção hidráulica  $t$  (em dias) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

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

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

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/d).

Cálculos:

- Substituindo valor da vazão de 229,34 m<sup>3</sup>/dia e o volume da lagoa de 51.085 m<sup>3</sup> o tempo de detenção hidráulica é de 223 dias.

Segundo Reichert (2007) a BDO efluente de saída é calculada pela seguinte fórmula:

$$Se = \frac{So}{1+k*t} \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

$Se$  = DBO de saída (mg/L);

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

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

$k$  = coeficiente cinético.

O coeficiente cinético conforme Reichert (2007) varia de 0,1 a 0,35d<sup>-1</sup>, para o presente trabalho será adotado 0,35d<sup>-1</sup>.

Cálculos:

- Substituindo valor da DBO de entrada de 4454,95 e o tempo de retenção hidráulica de 223 dias, o valor da DBO de saída é de 56,36 mg/l.

## 10.7 SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

O sistema de drenagem de águas pluviais tem como objetivo a coleta e o escoamento da água da chuva afim de evitar a ocorrência de erosões nos taludes e no sistema viário, bem como o aumento da quantidade de percolados por infiltrações superficiais. (REICHERT, 2007).

A água da chuva não deve se misturar com o líquido percolado, pois este precisará de tratamento antes de serem liberados na natureza, enquanto a água da chuva não precisa de tal tratamento.

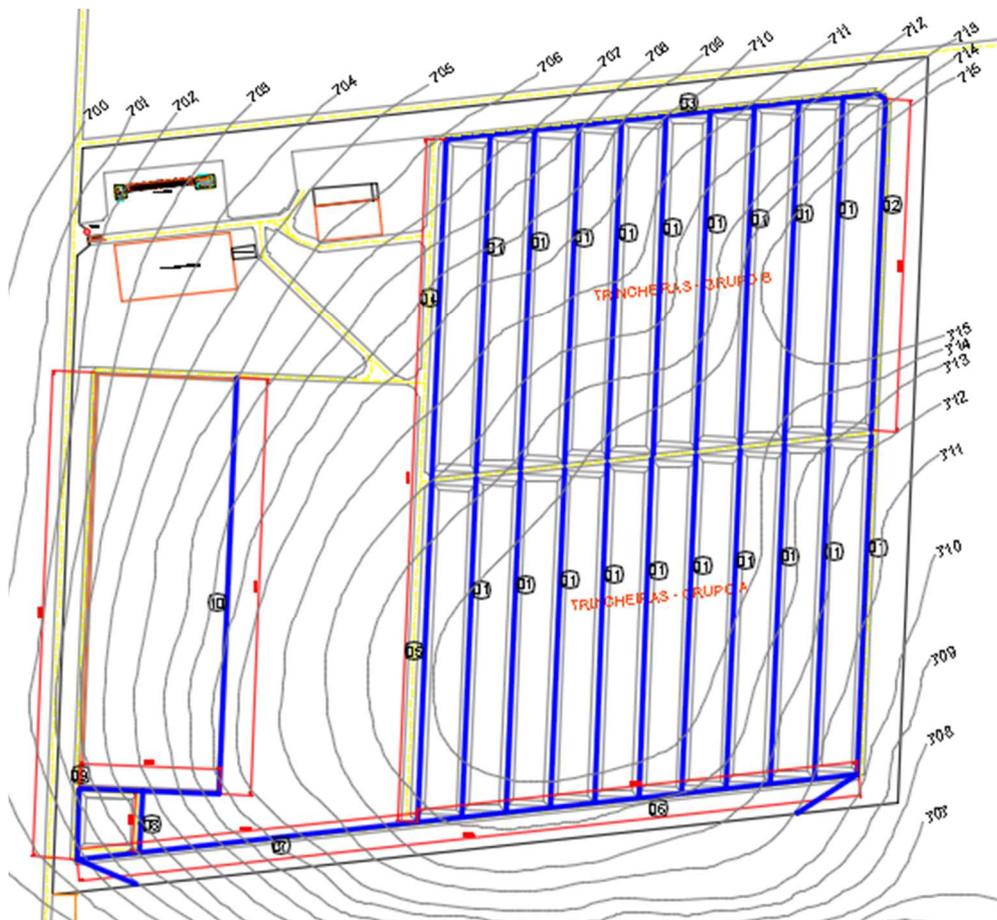
Os drenos superficiais devem ser projetadas em torno das células de forma a receber as águas pluviais quando as células estiverem concluídas e cobertas evitando que se misture ao líquido percolado. O sistema de drenagem deve ser construído levando em consideração a topografia do local, utilizando a inclinação natural do terreno a fim de facilitar o escoamento.

Segundo Reichert (2007), os sistema de drenagem poderá ser composto por canais em argila compactada, solo revestido em concreto, meia cana ou tubos de concreto.

### 10.7.1 Dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais

Para o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais, é necessário local os drens no aterro (figura 27) levando-se em conta a topografia do terreno e a posição das trincheiras.

Figura 27- Disposição dos drens de águas pluviais



Fonte: Próprios autores, 2018.

A partir da posição dos drens é possível dividir a área em sub-bacias (figura 28) que serão usadas para determinação de parâmetros dos demais cálculos.

Figura 28- Representação das bacias de contribuição



Fonte: Próprios autores, 2018.

#### 10.7.1.1 Cálculo da vazão de projeto

No dimensionamento da rede de drenagem das águas pluviais pode-se utilizar o método racional, válido para pequenas bacias com área de até 50 hectares (REICHERT, 2007):

$$Q = c * i * A \quad \text{Equação (14)}$$

Onde:

$Q$  = vazão a ser drenada na seção considerada ( $m^3/s$ );

$c$  = coeficiente de escoamento superficial (% do volume precipitado que escoar na superfície);

$i$  = intensidade de chuva crítica (m/s), (quando  $t = t_c$ );

$A$  = área bacia ou sub-bacia de contribuição (m<sup>2</sup>).

Para determinação do coeficiente de escoamento superficial é preciso analisar o tipo de solo, o tipo de cobertura do solo e a declividade do terreno, de acordo com a tabela a seguir:

**Tabela 7- Valores do coeficiente de escoamento superficial**

Tipo de Cobertura	Solo Arenoso		Solo Argiloso	
	Declividade < 7%	Declividade > 7%	Declividade < 7%	Declividade > 7%
Áreas com matas	0,20	0,25	0,25	0,30
Campos cultivados	0,30	0,35	0,35	0,40
Áreas gramadas	0,30	0,40	0,40	0,50
Solos sem cobertura vegetal	0,50	0,60	0,60	0,70

Fonte: Rocca et al. (2003).

Para o presente trabalho, será considerado um coeficiente de escoamento superficial de 0,6 considerando que a área do aterro é inicialmente sem cobertura vegetal, um solo predominantemente argiloso e uma declividade menor que 7%, conforme Rocca et al (1993), exceto para sub-bacias II, onde depois de finalizada a trincheira o solo será coberto por uma manta de impermeabilização para depois receber uma camada vegetal na superfície, ou seja, não haverá percolação nessa área e 100% da água será escoada para os drenos, para esses casos será usado um coeficiente de escoamento superficial de 1,0.

Para o cálculo da intensidade de chuva crítica será considerada a seguinte equação: Rocca et al. (1993).

$$i(tc, T) = \frac{1}{tc} ((0,21 * \ln T + 0,52) * (0,54 * tc^{0,25} - 0,5) * P(60,10)) \quad \text{Equação (15)}$$

Onde:

$i$  = intensidade da chuva crítica (mm/min);

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$T$  = tempo de retorno (anos);

$P(60,10)$  = precipitação com duração de 60 minutos e período de retorno de 10 anos (mm), já ocorrida.

O tempo de concentração é o tempo em que a gota da chuva que cai no ponto mais distante da bacia de contribuição leva para alcançar a seção considerada, sendo preciso o uso da seguinte equação, para obtê-la (REICHERT, 2007):

$$t_c = 5,3 * \sqrt[3]{\frac{L}{I}} \quad \text{Equação (16)}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$L$  = comprimento do talvegue máximo da bacia (km);

$I$  = declividade média do talvegue máximo (m/m).

Encontrados os valores do tempo de concentração, da intensidade da chuva crítica e do coeficiente de escoamento superficial, foi possível encontrar a vazão de projeto para cada sub-bacia, conforme demonstrado na tabela 8.

**Tabela 8-Estimativa da vazão máxima de cada sub-bacia**

Sub-bacia	L (Km)	I (m/m)	$t_c$ (min)	T (anos)	$P(60,10)$ (mm)	$i_c$ (m/s)	C	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)
I	0,019	0,01	6,56	10	70	6,4966E-05	1	11223,78	0,729
II	0,223	0,01	6,69	10	70	6,4448E-05	0,6	7719,99	0,298
III	0,172	0,03	9,48	10	70	5,5241E-05	0,6	56304,84	1,866
IV	0,242	0,03	10,63	10	70	5,2293E-05	0,6	15460,22	0,485

Fonte: Próprios autores (2018).

### 10.7.1.2 Dimensionamento do canal de drenagem

Conhecida a vazão de projeto, o dimensionamento do canal pode ser feito através da seguinte equação (CHEZY-MANNING apud REICHERT, 2007):

$$Q = \frac{1}{n} * S * Rh^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação (17)}$$

Onde:

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$n$  = coeficiente de rugosidade das paredes do canal;

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

$Rh$  = raio hidráulico da seção,  $S/Pm$  (m), onde  $Pm$  é o perímetro molhado;

$i$  = declividade do canal (m/m).

Para determinação do coeficiente de rugosidade, é preciso determinar o tipo de material a ser usado, e para o presente trabalho será adotado valas revestidas de concreto, cujo coeficiente de rugosidade é de 0,013, conforme tabela de Manning:

**Tabela 9- Coeficiente de rugosidade por material**

Material de revestimento do canal	Coeficiente n
Concreto	0,013
Terra	0,025
Brita	0,030

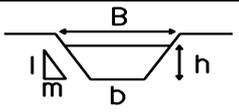
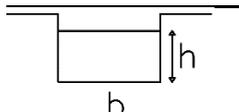
**Fonte:** Rocca et al. (2003).

Inicialmente pensou-se em adotar canaletas com seção trapezoidal para todos os drenos de águas pluviais do presente trabalho, porém, após a realização de alguns testes foi verificado que seria inviável devido as altas vazões que exigiriam seções com grandes dimensões. Com o intuito de diminuir a seção das canaletas, foi adotado para os trechos com vazões mais elevadas, canaletas com seção retangular.

Para se encontrar a seção das canaletas de drenos, é preciso ir atribuindo dimensões e verificando se a vazão encontrada é igual ou superior a vazão de projeto encontrada.

Para cálculo das seções das canaletas, foi usada a as fórmulas demonstradas na tabela 10:

**Tabela 10 -Raio Hidráulico para seção trapezoidal e retangular**

Geometria da seção	Área Molhada	Perímetro Molhado	Raio Hidráulico	Largura Superficial
	$(b+mh)h$	$b+2h\sqrt{(1+m^2)}$	$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{(1+m^2)}}$	$b+2mh$
	$b.h$	$b+2h$	$\frac{b.h}{b+2h}$	$b$

Fonte: Tomaz (2011).

Para verificação quanto a velocidade máxima recomendada para evitar erosão dos canais, foi usada como referência a tabela 11.

**Tabela 11- Velocidades máximas por tipo de superfície**

Velocidade máxima em função do material da parede do canal	
Material da parede do canal	Velocidade máxima (m/s)
Canais arenosos	0,30
Saibro	0,40
Seixos	0,80
Materiais aglomerados consistentes	2,00
Alvenaria	2,50
Canais em rocha compacta	4,00
Canais de concreto	4,50

Fonte: Fernandes, Araújo e Ito, 1999 Apud Tomaz (2011).

Com todos os dados necessários definidos, foi possível encontrar as seções dos canais necessárias para acomodar a vazão de projeto calculada, as inclinações usadas foi de 1%, exceto para os drenos 3, 6 e 7, que devido a declividade mais acentuada do terreno natural, fez-se necessário adotar uma declividade maior, que foi de 2 % para os drenos 3 e 6 e de 4% para o dreno 7.

Os resultados obtidos foram relacionados na tabela 12:

**Tabela 12-Definição das dimensões das canaletas de drenagem por interação**

Dreno	Sub-bacia	Q m <sup>3</sup> /s	n	m m/m	b (m)	h (m)	S m <sup>2</sup>	Rh m	i m/m	Q m <sup>3</sup> /s	B m	V m/s
1	I	1,458	0,013	1	0,45	0,50	0,475	0,255	0,01	1,469	1,45	3,00
2	I+II	1,027	0,013	1	0,40	0,45	0,382	0,229	0,01	1,1	1,30	2,87
3	I*10+II	13,88	0,013	0	1,30	1,65	2,145	0,466	0,02	14,03	1,30	6,54
4	I*10+II	14,609	0,013	0	1,60	1,80	2,88	0,554	0,01	14,94	1,60	5,19
5	I*11+II	15,388	0,013	0	1,65	1,80	2,97	0,566	0,01	15,63	1,65	5,26
6	I*10	13,58	0,013	0	1,30	1,65	2,145	0,466	0,02	14,03	1,30	6,54
7	I*11+II	15,388	0,013	0	1,05	1,80	1,89	0,406	0,04	15,95	1,05	8,44
8	IV	0,485	0,013	0	0,45	0,50	0,225	0,155	0,01	0,5	0,45	2,22
9	III+IV	2,351	0,013	0	0,9	0,8	0,72	0,288	0,01	2,415	0,9	3,35
10	III	1,866	0,013	0	0,80	0,75	0,6	0,261	0,01	1,884	0,80	3,14

Fonte: Próprios autores (2018).

Para se obter a velocidade, divide-se a vazão pela área da seção do canal.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que os drenos 3,4,5,6 e 7 obtiveram velocidade superior a máxima recomendada. Para esses drenos será necessário adotar soluções que diminuam a velocidade da água escoada.

Para que se consiga diminuir essa velocidade, uma das soluções mais utilizadas é a implementação de obstáculos dentro do canal, como brita, grades de aço galvanizadas, blocos de concreto, rachão, entre outros. Em casos onde a declividade é muito grande, usa-se degraus para quebrar a velocidade da água.

Para o presente trabalho foi pensado em se colocar dentro dos canais onde a velocidade está acima da máxima recomendada, obstáculos de pedra rachão, que tem granulometria entre 76 e 250mm. A pedra seria adicionada no momento da construção de forma que fique parcialmente submersa no concreto e não seja levada pela força da água.

A quantidade de pedra no fundo no canal seria diretamente proporcional a velocidade calculada, com isso, a velocidade diminuiria, porém com menores velocidades e uma menor área molhada, se faz necessário aumentar as dimensões do canal.

Para determinar as novas dimensões do canal seria necessário um estudo detalhado do impacto que a pedra rachão teria no canal, o que é inviável para o presente trabalho, por isso será adotado um aumento de 30 % na seção dos drenos para compensar a mudança de velocidade e de área molhada.

A tabela abaixo mostra todos os drenos já com as seções alteradas:

**Tabela 13-Definição das dimensões definitivas das canaletas**

Dreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b (cm)	0,45	0,40	1,60	1,80	1,85	1,60	1,40	0,45	0,90	0,80
h (cm)	0,50	0,45	1,80	2,10	2,10	1,80	1,80	0,50	0,80	0,75
m (m/m)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B (cm)	1,45	1,30	1,80	1,80	1,85	1,60	1,40	0,45	0,90	0,80

Fonte: Próprios autores (2018).

A água coletada deverá ser encaminhada para uma vala de escoamento natural que existe na Área de Preservação Permanente as margens da BR-153, que fica a 360 metros do aterro, e será descartada de forma que a força da água não provoque erosões, para que isso aconteça, será construída uma escada hidráulica com abertura nas laterais de forma que a largura aumente gradativamente, será construído também blocos de concreto na base da escada para ajudar a diminuir a velocidade da água antes de entrar em contato com o solo natural.

## 11 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os aspectos da construção de um aterro sanitário evidenciando a importância de se dar um destino adequado para os resíduos sólidos para que não haja prejuízos ao meio ambiente e a saúde da população.

Percebe-se que o aterro sanitário é uma obra de engenharia de grande porte, que exige um planejamento detalhado de todas as etapas da construção e operação, e de grande investimento para o poder público.

O mal dimensionamento ou falhas executivas podem trazer graves consequências para o meio ambiente e para a saúde humana, por isso, como todo projeto, deve ser executado por profissionais habilitados.

Foi possível concluir que, os benefícios de uma adequada destinação dos resíduos para as cidades objeto desse estudo vão além da preocupação com o meio ambiente e com o cumprimento de prazos, trata-se da qualidade de vida da população.

## REFERÊNCIAS

AMBIENTAL LIMPEZA URBANA. **Formas de Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos**. Disponível em <<http://www.ambiental.sc/saiba-mais/formas-de-tratamento-e-destinacao-dos-residuos-solidos/>> Acesso em: 03 mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Classificação, NBR 8.419. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Aterros de resíduos não perigosos- Critérios para projeto, implantação e operação**. Classificação, NBR 13.893. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Estabilidade de taludes**. Classificação, NBR 11.682. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Resíduos sólidos**. Classificação, NBR 10.004. Rio de Janeiro, p. 5, 2004.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CALJURI, M. C; CUNHA D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARMO, G. N. R. **Aterro Sanitário: Rotina de Operação do Aterro**. Disponível em: [www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/AS-\\_Aula-9.pdf](http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/AS-_Aula-9.pdf) >. Acesso em 28 abr. 2018.

CIDERSP-GO. **Estatuto do Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento da Região São Patrício – GO**. Disponível em: < <http://cidersp.go.gov.br/painel/pastaArquivos/bcdd627b53a35b82da203532a4fba0c2.pdf> > Acesso em: 08 jun. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Aterro Sanitário: Biogás**. Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/biogas/aterro-sanitario/> >. Acesso em 10 mai. 2018.

CORSINI, Rodnei. **Drenagem de aterros sanitários**. Disponível em: < <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/40/drenagem-de-aterros-sanitarios-313543-1.aspx> > Acesso em: 19 mai. 2018.

DICIONÁRIO AMBIENTAL ((o))eco. **Entenda a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: < <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28492-entenda-a-politica-nacional-de-residuos-solidos/> >. Acesso em: 12 mai. 2018.

DICIONÁRIO AMBIENTAL ((o))eco. **GASES do efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e Metano (CH<sub>4</sub>)**. Disponível em: < <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/> >. Acesso em: 12 mai. 2018.

DRAETA, P. **Reciclagem no Brasil: O que é Aterro Sanitário e como Funciona**. 2018. Disponível em: <<http://www.reciclagemnobrasil.com/o-que-e-aterro-sanitario-e-como-funciona/>>. Acesso em 11 mai. 2018.

ECYCLE. **O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)?**. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/3705-o-que-e-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs-urbanos-descartes-danos-saude-meio-ambiente-qualidade-vida-reciclagem-consumo-instrumento-responsabilidade-produto-metas-lixoes.html> > Acesso em: 12 mai. 2018.

ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Redução de emissões na disposição final**. Disponível em < [http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_publicacao/125\\_publicacao12032009023918.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf) >. Acesso em 06 out. 2018.

FARIA, Caroline. **Destinação de Resíduos**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/destinacao-de-residuos/>> Acesso em: 03 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.

GEOFOCO BRASIL. **Drenagem de Aterro Sanitário**. Disponível em: < <http://geofoco.com.br/drenagem-de-aterro-sanitario/> > Acesso em: 19 mai. 2018.

GEOFOCO BRASIL. **Sistema de Drenagem para Aterro Sanitário**. Disponível em: < <http://geofoco.com.br/sistema-de-drenagem-para-aterro-sanitario/> > Acesso em: 19 mai. 2018.

GOOGLE Earth. **Vista do local escolhido para o Aterro Sanitário.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/dir/-15.8754591,-49.2438649/-15.8759304,-49.2439234/@-15.8751378,-49.2432387,3283m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>>. Acesso em 13 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades.**

Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 18 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa**

**Nacional de Saneamento Básico: Manejo de Resíduos Sólidos.** 2008. Disponível em:

<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em 04 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Total de**

**municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por natureza dos serviços em Goiás.** 2000. Disponível em:

<[https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao\\_devida/pnsb/lixo\\_coletado/lixo\\_coletado104.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao_devida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado104.shtm)>. Acesso em 04 abr. 2018.

JIVAGO, D. **Incineração do Lixo.** Disponível

em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/incineracao-do-lixo/>>. Acesso em 15 abr. 2018.

JUNIOR, A. B. de C. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável Para Municípios de Pequeno Porte.** 1º. ed. Rio de Janeiro: ABES RiMa, 2003.

LANGE, L. C et al. **Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários.** Belo Horizonte: ReCESA, 2008.

LANZA, V. C. V.; CARVALHO, A. L. **Orientações Básicas para a operação de aterro sanitário.** Fundação Estadual do Meio Ambiente–Belo Horizonte, FEAM, 2006.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biomerremediação.** 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004.

MACHADO, G. B. **Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Disponível em <<https://portalresiduossolidos.com/lei-12-3052010-politica-nacional-de-residuos-solidos/>> Acesso em: 05 mai. 2018.

MACHADO, G. B. **Portal Resíduos Sólidos: A Reciclagem.** Disponível em:

<<https://portalresiduossolidos.com/a-reciclagem/>>. Acesso em 14 abr. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário: Composição do Biogás de Aterro.** Disponível em

<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em 03 mai. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para implantação de sistema de**

**informação de gestão de resíduos sólidos em consórcios públicos.** Disponível em <

[http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_arquivos/5\\_manual\\_implantao\\_sistema\\_info\\_rmao\\_gesto\\_rs\\_cp\\_125.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/5_manual_implantao_sistema_info_rmao_gesto_rs_cp_125.pdf)>. Acesso em 31 out. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/agencia-informma/item/485-plano-nacional-de-saneamento-b%C3%A1sico> > Acesso em: 12 mai. 2018.

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 mai. 2018.

NASCIMENTO FILHO, I. **Estudo de Compostos Orgânicos em Lixiviado de Aterro Sanitário**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2002.

OBLADEN, N. L. et al. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**: Série de Publicações Temáticas do CREA- PR. Paraná, 2009. 64 p. v. 3.

PACHECO, E. B. V. et al. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

PHILIPPI JUNIOR, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2010.

PICANÇO, Aurélio. **Disposição final ambientalmente adequada dos Resíduos Sólidos**. Disponível em: < [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/aurelio\\_pessoa.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/aurelio_pessoa.pdf) > Acesso em: 19 mai. 2018.

REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**: Manual 2007. 117 p. Disponível em: <<http://documentslide.com/documents/manual-aterro-sanitario-2007-gerald-reichertpdf.html>>. Acesso em: 15 set. 2018.

REIS, F. A. G. V. **Formas de Disposição de Resíduos Sólidos: Aterro Sanitário**. Universidade Estadual Paulista, Engenharia Ambiental, Rio Claro, 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res14.html>>. Acesso em 05 mai. 2018.

RIBEIRO, Rafaela. **Política de Resíduos Sólidos apresenta resultados em 4 anos**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/informma/item/10272-pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-apresenta-resultados-em-4-anos> > Acesso em: 12 mai. 2018.

ROCCA, A.C. et al. **Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo: CETESB, 1997.

SANCHES, Fernando dos Santos. **Estudos técnicos para remediação e ampliação do Aterro Sanitário de Cuiabá – MT**. Disponível em: < <http://www.cuiaba.mt.gov.br/storage/webdisco/2015/12/30/outros/98911d6fc627e1d395c931b7fa1d7123.pdf> > Acesso em 08 jun.2018.

SOUTO, Gabriel D' Artigo de Brito. **Lixiviado de Aterros Sanitários Brasileiros - Estudo de Remoção de Nitrogênio Amoniacal por Processo de Arraste com Ar ("Stripping")**. São Carlos, 2009.

TOMAZ, P. **Fórmula de Manning e Canais**: Curso de Manejo de Águas Pluviais. 2011. 61p.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

VILANOVA NETA, M. A. **Atlas de Saneamento 2011**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Rio de Janeiro, 2011. cap. 9.