



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JÉSSICA CAROLINE GOMES EVANGELISTA  
NAIARA NUNES SILVESTRE**

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ATERRO SANITÁRIO EM JARAGUÁ-GO**

**PUBLICAÇÃO Nº: 02**

**GOIANÉSIA / GO  
2022**



**JÉSSICA CAROLINE GOMES EVANGELISTA  
NAIARA NUNES SILVESTRE**

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM ATERRO SANITÁRIO EM JARAGUÁ-GO**

**PUBLICAÇÃO Nº: 02**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO  
AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR**

**GOIANÉSIA / GO: 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

EVANGELISTA, JÉSSICA CAROLINE GOMES; SILVESTRE, NAIARA NUNES.

Dimensionamento e análise da implantação de um aterro sanitário em Jaraguá-GO. 2022 xi, 80P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Resíduos sólidos urbanos	2. Descarte
3. Coleta	4. Tratamento
I. ENC/FACEG	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EVANGELISTA, J. C. G.; SILVESTRE, N. N. Dimensionamento e análise da implantação de um aterro sanitário em Jaraguá-GO. TCC, Publicação nº 2 2022/1 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 80p. 2022.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jéssica Caroline Gomes Evangelista e Naiara Nunes Silvestre.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Dimensionamento e análise da implantação de um aterro sanitário em Jaraguá-GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG 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.

---

Jéssica Caroline Gomes Evangelista  
Rua 04 Qd. 06 Lt. 12, Vila Rio Vermelho  
CEP 76330-000 - Jaraguá/GO – Brasil

---

Naiara Nunes Silvestre  
Rua 04 nº 286, Setor Sul  
CEP 76382-250 - Goianésia/GO – Brasil

**JÉSSICA CAROLINE GOMES EVANGELISTA  
NAIARA NUNES SILVESTRE**

**PROJETO E ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO  
SANITÁRIO EM JARAGUÁ-GO**

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

**APROVADO POR:**



---

**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (FACEG)  
(ORIENTADOR)**



---

**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



---

**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA / GO: 06 DE JUNHO DE 2022**

## RESUMO

Entre os principais problemas ambientais da atualidade, destacam-se aqueles relacionados a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), oriundos das ações realizadas em ambientes urbanos, são compostos basicamente pelas frações úmidas (matéria orgânica) e secas (plástico, metais, vidros, papel, papelão etc.). O aterro sanitário é o local ideal para o descarte adequado dos RSU, no entanto sua ausência em municípios brasileiros é uma condição preocupante, pois está relacionada ao saneamento básico, meio ambiente e saúde pública. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi dimensionar e analisar a implementação de um aterro sanitário na cidade de Jaraguá – GO, de acordo com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Inicialmente, foram realizadas visitas técnicas na prefeitura do município, onde foram coletados os dados sobre a atual administração dos RSU. Com isso foi possível obter um panorama sobre a situação atual dos RSU. Além disso, foi determinado a população de projeto do município, e conseqüentemente a produção de resíduos em um horizonte de 20 anos, para assim realizar o dimensionamento adequado do aterro sanitário que atenderá o município. Dessa forma, foi possível realizar os cálculos para o dimensionamento dos sistemas necessários ao correto funcionamento do aterro e as orientações para seu monitoramento. Os resultados mostram que a projeção da população de projeto para um horizonte de 20 anos é igual a 73.497 habitantes, onde, considerando a produção de lixo de 0,71 kg.hab/dia, gera uma quantidade de resíduos total de 409.603,26 m<sup>3</sup>, sendo necessário uma área de aproximadamente 25 ha para o aterro.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos. Descarte. Coleta. Tratamento. Saneamento.

## ABSTRACT

Among the main environmental problems of the present time, those related to the generation of urban solid waste (USW), arising from actions conducted in urban environments, are composed of wet (organic matter) and dry fractions (plastic, metals, glass, paper, cardboard, etc.). The sanitary landfill is the ideal place for the proper disposal of USW, however its absence in Brazilian municipalities is a worrying condition, as it is related to basic sanitation, environment, and public health. In this sense, the objective of this work was to dimension and analyze the implementation of a sanitary landfill in the city of Jaraguá - GO, according to the guidelines of the National Solid Waste Plan. Initially, technical visits were conducted at the city hall, where data on the current administration of USW were collected. With this, it was possible to obtain an overview of the current situation of USW. In addition, the project population of the municipality was determined, and consequently the production of waste in a horizon of 20 years, to conduct the adequate sizing of the sanitary landfill that will serve the municipality. In this way, it was possible to perform the calculations for the dimensioning of the systems necessary for the correct functioning of the landfill and the guidelines for its monitoring. The results show that the project population projection for a horizon of 20 years is equal to 73,497 inhabitants, where, considering the garbage production of 0.71 kg.hab/day, it generates a total amount of waste of 409,603.26 m<sup>3</sup>, requiring an area of approximately 25 ha for the landfill.

**Keywords:** Solid urban waste. Discard. Collect. Treatment. Sanitation.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Modelos de veículos coletores sendo: Coletor caçamba padrão (a), Coletor com carroceria (b), Caminhão Poliguindaste (c), Compactador (d).....	9
Figura 2 - Esquematização de um lixão.....	10
Figura 3 - Esquematização de um aterro controlado. ....	11
Figura 4 - Esquematização de um aterro sanitário. ....	12
Figura 5 - Sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno. ....	16
Figura 6 - Sistema de drenagem e remoção do percolado.....	17
Figura 7 - Sistema tratamento percolado.....	18
Figura 8 - Instalação da manta de impermeabilização no Aterro Sanitário de Brasília. ....	19
Figura 9 - Queimador do tipo flare.....	21
Figura 10 - Localização de Jaraguá-GO em relação ao estado de Goiás. ....	22
Figura 11 - Distribuição dos drenos verticais com a sobreposição dos raios de influência. ....	35
Figura 12 - Localização via satélite do Lixão da cidade de Jaraguá. ....	38
Figura 13 - Caminhão de lixo com carroceria de madeira aberta (a) e coletor compactador (CCC) (b).....	39
Figura 14 - Local de destinação de Resíduos Sólidos Urbanos de Jaraguá-GO (Lixão).....	40
Figura 15 - Geometria da trincheira. ....	47
Figura 16 - Sistema de drenagem. ....	49
Figura 17 - Esquema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. ....	50
Figura 18 - Distribuição dos drenos na vala.....	53
Figura 19 - Caixa metálica para Colchão de Reno. ....	55
Figura 20 - Colchão de Reno com recobrimento de argamassa. ....	55
Figura 21 - Detalhamento do canal trapezoidal dimensionado (medidas em cm).....	56

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Disposição final RSU nas regiões, por tipo de destinação (tonelada/ano).....	5
Tabela 2 - Critério para a dispensa de impermeabilização complementar. ....	20
Tabela 3 - Instruções para drenagem dos gases.....	21
Tabela 4 - Volume dos Resíduos Sólidos.....	28
Tabela 5 - Valores do coeficiente de escoamento superficial. ....	36
Tabela 6 - Estimativa da geração per capita de RSU, por faixa populacional, para o estado de Goiás.....	41
Tabela 7 - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método aritmético. ....	42
Tabela 8 - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método geométrico. ....	43
Tabela 9 - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método de mínimos quadrados. ....	44
Tabela 10 - Comparativo População final dos métodos, Geométrico, Aritmético e Mínimos Quadrados.....	45
Tabela 11 - Volume anual de resíduo produzido.....	46
Tabela 12 - Cargas afluentes de DBO na fase ácida e metanogênica.....	51
Tabela 13 - Elementos geométrico-hidráulicos de seção trapezoidal de canal. ....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ART - Anotação da Responsabilidade Técnica.

CEMAn - Conselho Estadual do Meio Ambiente de Goiás.

CH<sub>4</sub> - Gás metano.

CO<sub>2</sub> - Gás carbônico.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO - Demanda química de oxigênio.

EPI's - Equipamentos de Proteção Individual.

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto.

GEE - Gases de Efeito Estufa.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

MMA - Ministério do Meio Ambiente.

MP - GO - Ministério Público de Goiás.

NBR - Norma brasileira

OECPPA - Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção Ambiental.

PEAD - Polietileno de Alta Densidade.

PERS - Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

PRAD - Plano de Recuperação de Área Degradada.

PRF - Polícia Rodoviária Federal.

ReCESA - Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental.

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos.

SEMAD - Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

SI - Sistema Internacional de Unidades.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	4
2.1.1 Classificação .....	6
2.1.2 Coleta e transporte .....	8
2.1.3 Disposição.....	9
2.2 LEGISLAÇÃO .....	12
2.2.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos.....	12
2.2.2 Plano Estadual de Resíduos Sólidos .....	13
2.3 ATERRO SANITÁRIO.....	13
2.3.1 Dimensionamento .....	14
2.3.1 Sistema de drenagem superficial.....	15
2.3.2 Sistema de drenagem e remoção de percolado.....	16
2.3.3 Sistema de tratamento do percolado .....	17
2.3.4 Impermeabilização inferior e/ou superior .....	19
2.3.5 Sistema de drenagem de gás .....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO.....	22
3.2 ANÁLISE DA ADMINISTRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL.....	22
3.4 DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO .....	23
3.4.1 Estimativa da população de projeto .....	23
3.5.3 Elementos de projeto.....	25
3.5.4 Operação do aterro sanitário e uso futuro da área.....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
4.1 ANÁLISE DA ADMINISTRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL.....	38
4.2 PROJETO DO ATERRO SANITÁRIO.....	41
4.2.1 Estimativa da população de projeto e volume de resíduos sólidos .....	41
4.2.2 Dimensionamento das trincheiras .....	46
4.2.3 Impermeabilização inferior e/ou superior .....	47

4.2.4 Sistema de drenagem e remoção de percolado.....	48
4.2.5 Sistema de tratamento do percolado .....	50
4.2.6 Sistema de drenagem e tratamento do biogás .....	52
4.2.7 Sistema de drenagem de águas pluviais .....	53
<b>4.3 LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, CLIMATOLÓGICA E USO DE ÁGUA E SOLO.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4 MONITORAMENTO .....</b>	<b>57</b>
4.4.1 Monitoramento ambiental .....	57
4.4.2 Monitoramento geotécnico.....	59
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE A – TABELA PARA CÁLCULO DA LAGOA ANAERÓBICA .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE B – TABELA PARA CÁLCULO DA LAGOA FACULTATIVA .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE C – TABELA RESUMO DAS FASES DAS LAGOAS .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE D – TABELA PARA O CÁLCULO DO CANAL PARA COLETA DE ÁGUAS PLUVIAIS .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Entre os principais problemas ambientais da atualidade, destacam-se aqueles relacionados a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), oriundos das ações realizadas em ambientes urbanos, são compostos basicamente pelas frações úmidas (matéria orgânica) e secas (plástico, metais, vidros, papel, papelão etc.) (NOBREGA *et al.*, 2019).

O aterro sanitário é o local ideal para o descarte adequado dos resíduos sólidos urbanos, no entanto sua ausência em municípios de pequeno porte é uma condição preocupante, pois está relacionada ao saneamento básico, meio ambiente e saúde pública. Os municípios devem coletar e depositar os resíduos sólidos de forma adequada. Por carência de recursos, falha na administração e visão ambiental fragilizada, os resíduos sólidos são descartados incorretamente no meio ambiente, principalmente nos chamados lixões, ocasionando contaminação do solo, rios e lençóis freáticos, além da emissão de biogás (BRASIL,2010).

Apesar do aterro sanitário ser o único local adequado de descarte dos RSU, o lixão a céu aberto é uma das soluções mais utilizadas, o lixo é jogado de forma inadequada em lixões ou aterros controlados, os quais não possuem um sistema e medidas necessárias para a proteção ao meio ambiente, sendo assim a forma mais prejudicial à saúde pública. O manejo de descarte sem orientações técnicas ou medidas de proteção atinge não somente o solo que recebe de forma direta este lixo, mas ocasiona a contaminação dos rios, lençóis freáticos, curso d'água, atraindo roedores, transmitindo doenças, proporcionando a proliferação de insetos e causando mau cheiro e poluição visual (SANTAELLA, 2014).

Sabe-se a importância do aterro sanitário para a correta acomodação das diversas classes de resíduos sólidos, o monitoramento ambiental, além do tratamento dos resíduos, gases e chorume. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos de Goiás também enfatiza a necessidade de estudar a localização exata das bacias de captação, uma vez que futuramente essa disposição inadequada de resíduos sólidos poderá gerar em conflitos políticos e administrativos (MORAIS, 2018).

No Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020), são propostas as metas, diretrizes, projetos, programas e ações voltadas à consecução dos objetivos para um horizonte de 20 anos. Segundo o plano, até o ano de 2024 não deverá existir lixões e aterros controlados. Conforme a determinação, vários municípios já deveriam estar apresentando o plano de implantação de aterro sanitário, realidade redundante, pois, segundo dados do ABRELPE (2021) cerca de 39,8% dos municípios do País realizam disposição inadequada dos resíduos.

De acordo com a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a disposição final de resíduos sólidos adequada deve acontecer em aterros sanitários, mas caso isso seja economicamente impossível, poderão ser tomadas outras medidas, como um Plano Municipal, que esteja dentro das normas operacionais específicas, evitando a deterioração da saúde pública e o aumento dos impactos ambientais (BRASIL, 2010).

Porém, muitas cidades ainda não conseguem atender essas especificações e a gestão desses resíduos sólidos limitam-se somente na coleta e com destino em um lixão a céu aberto, como em Jaraguá, que é um município localizado na região Central do estado de Goiás, e por ter uma extensão significativa, com uma área territorial de 1.849,552 km, totalizando 51.338 habitantes e uma produção de resíduos estimada em 36.193,29 kg/dia (IBGE, 2020).

O lixão de Jaraguá fica localizado às margens da Rodovia BR-153, a menos de 5 km da cidade e bem próximo ao posto da Polícia Rodoviária Federal (PRF), que apresentaram queixas ao Ministério Público de Goiás (MP-GO) referentes ao mau cheiro e a fumaça das queimadas irregulares que ocorrem e que tem sido notícia nos jornais locais. Os órgãos públicos têm procurado soluções temporárias para o problema, por isso a finalidade do presente trabalho é o dimensionamento de um aterro sanitário que atenda o município de Jaraguá pelos próximos 20 anos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos traz por meio da Lei 12.305, de agosto de 2010, a necessidade de os municípios brasileiros realizarem a correta disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. Apesar disso, muitos municípios ainda descartam seus resíduos a céu aberto, em lixões ou aterros controlados, onde nenhum controle ou tratamento é realizado (BRASIL, 2010).

Segundo Philippi Jr, Roméro e Bruna (2014) apesar de proibidos pelo Ministério do Interior através da Portaria nº 53 de 01 de março de 1979, que dispõe sobre o tratamento, transporte e disposição final de resíduos sólidos, os lixões ainda são a forma mais usada de disposição de resíduos no Brasil. Entre os principais problemas ligados a esse tipo de disposição destacam-se os riscos da poluição atmosférica, degradação do solo, poluição das águas superficiais e subterrâneas, riscos à saúde pública, mau cheiro da área entre outros.

Em Goiás, segundo a Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Meio Ambiente (SEMAD), no mês de julho de 2017 havia 10 aterros com licença de funcionamento emitida

por ela, atendendo os municípios de: Alto Horizonte, Anápolis, Aparecida de Goiânia, Bela Vista de Goiás, Cidade Ocidental, Hidrolândia, Palmeiras de Goiás, Santa Terezinha de Goiás, Senador Canedo e Turvelândia. De acordo com os dados da secretaria 93,50% dos municípios goianos ainda não conseguem atender as exigências para a implementação de um aterro sanitário. Nestes locais a gestão dos resíduos sólidos limitam-se somente na coleta e com destino em um lixão a céu aberto.

Uma das cidades que têm enfrentado esta grave situação é o município de Jaraguá – GO que faz o uso inadequado de um lixão para o descarte de resíduos, os transtornos gerados pelo mau odor e pela fumaça originada da queima do lixo tem preocupado tanto a prefeitura da cidade, quanto a população, além disso, essa situação tem sido alvo de reclamações e até noticiada em jornais locais nos últimos anos.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta a urgente necessidade de se realizar a avaliação da implementação e o projeto de um aterro sanitário no local de acordo com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e demais normas pertinentes. O estudo da substituição do lixão por um aterro sanitário é fundamental para avaliar os impactos a longo prazo no gerenciamento de resíduos sólidos do município.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a implementação de um aterro sanitário na cidade de Jaraguá - GO através do seu dimensionamento de acordo com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a atual condição da administração dos resíduos sólidos na cidade de Jaraguá-GO.
- Estimar a população do projeto do aterro sanitário.
- Dimensionar um aterro sanitário para o tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos.
- Analisar os métodos de monitoramento para um aterro sanitário.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A produção de resíduos sólidos é um processo inevitável que acontece todos os dias e acarreta prejuízos irreversíveis ao meio ambiente. De acordo com a NBR 10004 -Resíduos sólidos – Classificação (ABNT, 2004, p. 1) a definição de resíduos sólidos é:

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

Os resíduos sólidos originados no meio urbano (RSU) são produzidos através das diversas atividades executadas em locais com grupos de pessoas nas cidades, municípios e povoados. São compostos por resíduos residenciais, comerciais, hospitalares, industriais, higienização pública, da construção civil e, agrícolas. Os diversos RSU produzidos, são geralmente levados para aterros sob responsabilidade do poder municipal (ZANTA, 2003).

Dentre os RSU, aqueles não gerados nos domicílios, como os resíduos hospitalares ou da construção civil, são de competência do gerador, estando obrigados a decidir o melhor destino deles. Os RSU domésticos são bastante diversificados, composto desde matéria orgânica, papéis, plásticos, metais e vidro até objetos classificados como perigosos por serem prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública (ZANTA, 2003).

A gestão inadequada dos resíduos sólidos ocasiona consequências imediatas do meio ambiente e à saúde, igualmente como favorece alterações no clima. Levando em consideração as poucas alternativas de destinação final para os resíduos sólidos, é essencial diminuir as quantias produzidas através da limitação, reutilização e reciclagem (GOUVEIA, 2012).

O crescimento econômico, o aumento da população, a urbanização acelerada e a revolução tecnológica vêm causando alterações no modo de vida e na forma de fabricação e consumo da população. Conforme derivação direta desses processos, a geração de resíduos sólidos cresce em escala exponencial, tanto em quantidade como em diversidade, sobretudo nos grandes centros urbanos. Além da extensão nos números, os resíduos gerados atualmente passaram a resguardar em sua constituição partículas sintéticas e perigosas ao ecossistema e à

saúde humana, em faculdade das novas tecnologias introduzidas ao cotidiano (GOUVEIA, 2012).

Todos os anos, são recolhidos no Brasil cerca de 359,3 kg de RSU por habitante. A geração de resíduos está em crescente elevação, com aumento avaliado em 19% no período de 10 anos, consideração muito superior ao 1% anual fitado para o aumento da população urbana no país em pouco tempo. Embora as grandes diferenças regionais, a geração de resíduos tem desenvolvido em todas as regiões e estados brasileiros (ABRELPE, 2021).

A produção média de RSU no Brasil é aproximadamente 1 kg por habitante/dia, medida já equivalente ao de alguns países da União Europeia (ABRELPE, 2020). Esse montante de resíduos gerados diariamente recebendo o tratamento final indevido, pode ocasionar contaminação do solo, contribuir para a impureza das águas e do ar. A contaminação das águas ocorre através de fenômenos naturais como a lixiviação, percolação, arrastamento etc. Na contaminação do ar, encontra-se efluentes gasosos emitidos para a atmosfera, oriundo das várias ações do homem, que podem ser considerados como lixo (SIQUEIRA, 2009).

A Tabela 1, traz um resumo da disposição final dos resíduos sólidos urbanos nas regiões do Brasil, de acordo com ABRELPE (2020). Observa-se que o centro-oeste apresenta bons resultados se comparado com outras regiões do país, com mais de 2 ton/ano dos resíduos são descartados em aterros sanitários.

**Tabela 1** - Disposição final RSU nas regiões, por tipo de destinação (tonelada/ano).

Local de disposição	Região					Brasil
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
<b>Aterro sanitário</b>	1.683.745	5.686.700	2.252.415	28.121.425	5.556.030	43.300.315
<b>Aterro controlado</b>	1.421.675	5.255.270	1.957.860	6.653.220	1.440.290	16.727.950
<b>Lixões</b>	1.664.765	5.031.525	1.243.190	3.906.960	873.445	873.445

Fonte: ABRELPE, 2020.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos deve ser globalizada, ou seja, compreender fases estruturadas entre si, desde a não geração até a disposição final, juntamente com tarefas compatíveis com as dos demais sistemas do saneamento ambiental, fazendo-se fundamental a participação ativa e cooperativa do 1º, 2º e 3º setor, respectivamente, governo, iniciativa privada e sociedade civil (ABRELPE, 2020).

### 2.1.1 Classificação

Para a classificação dos resíduos sólidos, é preciso levar em consideração parâmetros quanto à sua origem e periculosidade. Tal distinção é essencial para entender onde, como e quais impactos ambientais podem causar o agravamento da poluição e seus efeitos. É necessário a avaliação dos vários tipos de resíduos e de sua gravidade, para que dessa forma sejam obtidas providências para reduzir os impactos ambientais e o tratamento dos resíduos identificados, além disso, as fases de tratamento como separação, acondicionamento, armazenamento, transporte e disposição devem respeitar a normas de segurança para prevenção de acidentes, degradação e prejuízos econômicos (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Segundo o art. 13 da Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

#### I - Quanto à origem:

- a) Resíduos domiciliares: os provenientes de atividades domésticas em domicílios urbanos;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os resultantes da varrição, limpeza de locais públicos e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os compreendidos nos itens “a” e “b”;
- d) Resíduos de empresas comerciais e prestadores de serviços: os produzidos nessas ocupações, excluídos os referidos nos itens “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os produzidos nessas operações, excluídos os tratados no item “c”;
- f) Resíduos industriais: os gerados nos sistemas produtivos e estabelecimentos industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: os de origem dos serviços de saúde, de acordo como estabelecido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) Resíduos da construção civil: os produzidos nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, compreende os oriundos da preparação e escavação de áreas para obras civis;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: os produzidos nas práticas agropecuárias e silviculturais, incluídos os referentes a insumos utilizados nessas atividades;
- j) Resíduos de serviços terrestres: os provenientes de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

- k) Resíduos de mineração: os produzidos na operação de estudo, extração ou beneficiamento de minérios.

II - Quanto à periculosidade:

- a) Resíduos perigosos: aqueles que, em função de seus aspectos de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, manifestam considerável perigo à saúde pública ou à qualidade ambiental, em concordância com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) Resíduos não perigosos: aqueles não contidos na alínea “a”.

Além do mais, para análise de seus aspectos de periculosidade, os resíduos são separados nas seguintes classes de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004):

- a) Resíduos classe I - Perigosos;

Os resíduos perigosos são aqueles que indicam algum tipo de periculosidade.

Os resíduos de serviços de saúde serão considerados de acordo com a NBR 12808 (ABNT, 1993) que trata dos resíduos de serviço de saúde.

Já os resíduos produzidos nas estações de tratamento de esgotos domésticos e os resíduos sólidos domiciliares, excluindo-se os principiados no auxílio à saúde da pessoa ou animal, não vão ser considerados de acordo com os parâmetros de patogenicidade.

- a) Resíduos classe II – Não perigosos;

Para os resíduos não perigosos, a classificação é tratada conforme as seguintes diretrizes da norma:

- Resíduos classe II A – Não inertes: São aqueles que não fazem parte das classificações: De resíduos classe I – Perigosos; de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma; os resíduos classe II A – Não inertes, os quais podem ter características, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos classe II B – Inertes.

Classificam quaisquer resíduos que, quando é obtida uma dada amostra, de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004), e sujeitos a uma relação dinâmica e estática com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, de acordo com a NBR 10006 (ABNT, 2004), não tiverem qualquer um de seus componentes dissolvidos a concentrações maiores aos parâmetros de potabilidade de água, excluindo-se aparência, cor, turbidez, dureza e sabor, de acordo com o anexo G.

### 2.1.2 Coleta e transporte

Para o manejo adequado dos resíduos sólidos gerados no ambiente urbano, as etapas de transporte e coleta devem ser bem definidas e planejadas de forma que garanta uma cobertura em toda a área dos municípios. Existe a coleta convencional, que se destina a recolher o lixo comum, e a coleta seletiva, própria para resíduos que ainda podem ser reaproveitados (SILVA, 2020).

A coleta convencional deve ser realizada por funcionários da prefeitura municipal em 100% do Município. No perímetro urbano as coletas são realizadas porta a porta e em regiões que apresentem dificuldades na entrada dos veículos de coleta, são disponibilizados contêineres para o descarte dos resíduos residenciais, também são dispostos pontos específicos com contêineres nas proximidades rurais (PINHEIRO, 2017).

A coleta seletiva é implantada nos Municípios, com intuito de reaproveitar os resíduos potencialmente recicláveis gerando renda as cooperativas envolvidas. Inicialmente deve ser abordado um plano de conscientização da população do Município. A maior dificuldade em cidades que já possuem o projeto de coletas seletivas é justamente a resistência da população em aderir. Por isso, o ideal é inserir um projeto divulgando a ideia de todas as formas possíveis a população. O plano envolve, distribuição de panfletos nas residências, divulgação nas redes sociais, abordagem nas escolas. De forma que segreguem previamente seu resíduo antes a coleta seletiva. A partir do momento que todas estiverem dispostas a colaborar, facilita o trabalho das prefeituras em colocar em prática as coletas seletivas (RECICLASAMP, 2021).

A população precisa ter consciência de que lixo reciclável são resíduos que podem ser transformados em algo novo, igual ou diferente do original. Por exemplo: folhas de papel, garrafas pet, latas de bebida, arames, embalagens, partes de produtos e eletroeletrônicos. Quando um produto não pode ser transformado ele não é reciclável. É o caso de adesivos, papel carbono, espelhos, esponjas, papel higiênico, porcelana, cerâmica e guardanapos sujos (RECICLASAMP, 2021).

A coleta dos resíduos domiciliares deve ser realizada periodicamente, nos mesmos dias e horários, de forma que a população possa se adaptar a disponibilizar seus resíduos, nos locais adequados de coleta, nos dias e horários em que o veículo coletor realiza o recolhimento. A partir disso os lixos recicláveis devem ser descartados em sacos de lixo azul e não recicláveis em saco de lixo preto (PINHEIRO, 2017).

Na etapa de transportes, são utilizados alguns modelos de veículos coletores (Figura 1), de acordo com Pinheiro (2017) podem ser:

- a) Caminhões basculantes: automóvel sem compactação, o carregamento é despejado através do basculamento hidráulico da caçamba. É geralmente utilizado na coleta de resíduos públicos e auxilia os serviços de varrição;
- b) Caminhões com carroceria de madeira aberta: são próprios para a coleta de RSU em regiões de acesso complexo, como favelas, vilas e logradouros estreitos;
- c) Caminhões poliguindaste: possui volume para transportar caixas estacionárias cheias. Para grandes quantidades de lixo domiciliar, com capacidade de 10 m<sup>3</sup> a 30 m<sup>3</sup> de lixo;
- d) Veículos compactador: sem compactação, apropriado para municípios pequenos, com baixa densidade demográfica. Caçamba com volume de 4 m<sup>3</sup> a 12 m<sup>3</sup>;

**Figura 1** - Modelos de veículos coletores sendo: Coletor caçamba padrão (a), Coletor com carroceria (b), Caminhão Poliguindaste (c), Compactador (d).



Fonte: Adaptado de Contran, 2021; Bela Vista carrocerias, 2020; Prefeitura Municipal de Cristal, 2021; JBS Guindastes, 2021.

### 2.1.3 Disposição

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010, em seu art. 3° determina a disposição final ambientalmente adequada como: disposição sistemática de rejeitos em aterros, levando em consideração regulamentos operacionais específicos de maneira a prevenir prejuízos ou perigos à saúde pública e à segurança e a reduzir os efeitos ambientais adversos (BRASIL,2010).

É necessário ser realizada apenas a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos para os resíduos que forem excluídos a chance de alguma forma de aproveitamento (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Em conformidade com o que é dito na Lei nº 12.305/2010:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

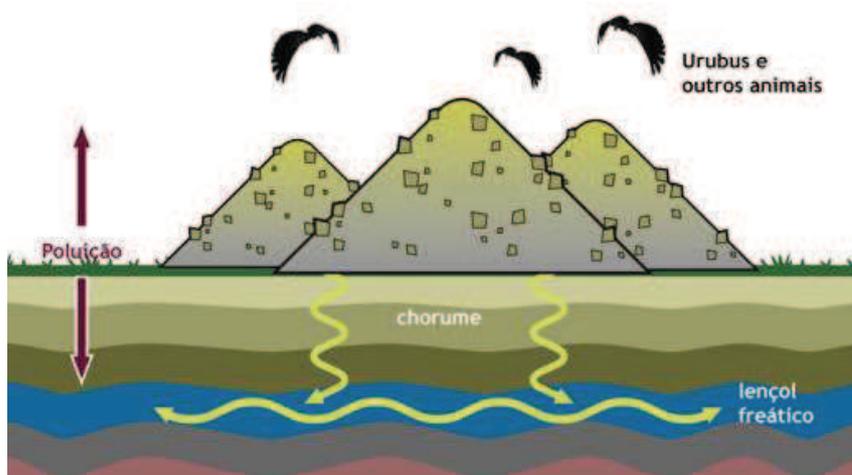
§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

§ 2º A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no caput e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei.

De acordo com Santaella *et al.* (2014), pode-se citar os tipos e as características mais usuais de disposição final de resíduos sólidos:

- a) Lixão: o qual é uma maneira inadequada de disposição final de resíduos sólidos, caracterizado pela falta de planejamento ou ações de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. No local, não há uma preparação para o depósito dos resíduos, ou tratamento do chorume (líquido poluente originário da decomposição da matéria orgânica), penetrando o solo e contaminando o lençol freático. De modo geral, insetos, aves e roedores coabitam essas áreas com catadores que buscam materiais recicláveis para comercialização ou alimentação. Na Figura 2 é mostrado uma esquematização desse tipo de disposição.

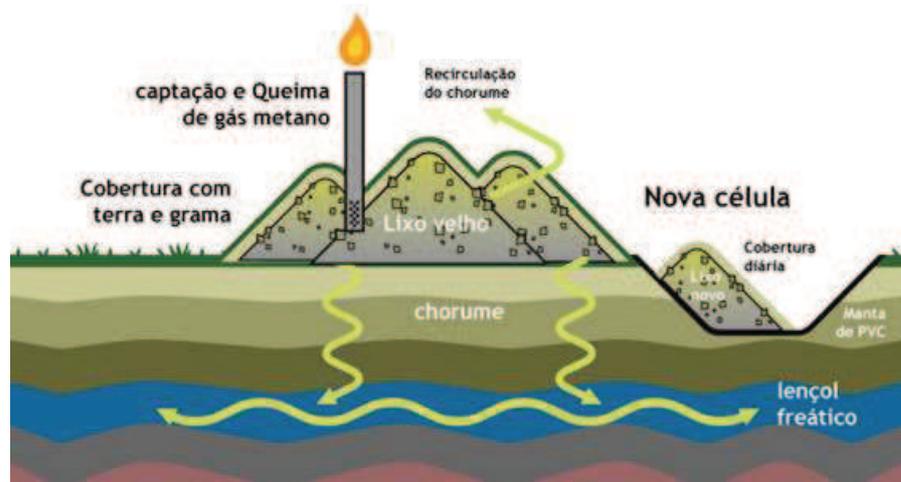
**Figura 2** - Esquematização de um lixão.



Fonte: BUGLIA, 2015.

- b) Aterro controlado: sistema inadequado de disposição final de resíduos sólidos, o qual pode causar perigos à saúde pública e ao meio ambiente. Os resíduos são dispostos indevidamente no solo e são recobertos com níveis de terra, desprovido de impermeabilização antecipada em depressões ou escavações. Além disso, falta extravasores para a obtenção dos gases produzidos na massa de resíduos sólidos e lançamento para a atmosfera ou condução para queima ou reaproveitamento, e tratamento do chorume produzido. Refere-se a uma maneira de disposição mais razoável que a do lixão, contudo ainda incorreta e não indicada tecnicamente. Na Figura 3 é mostrado uma esquematização desse tipo de disposição.

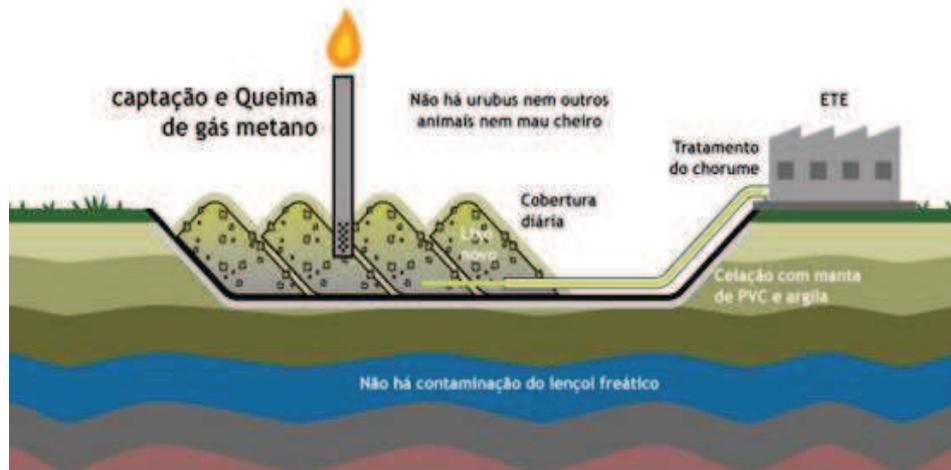
**Figura 3** - Esquematização de um aterro controlado.



Fonte: BUGLIA, 2015.

- c) Aterro sanitário: o projeto para disposição dos resíduos sólidos leva em consideração o dimensionamento para períodos determinados. O terreno é preparado antecipadamente para receber os resíduos sólidos com uma base de argila ou envoltura de mantas poliméricas para impedir a passagem de líquidos. Sendo assim, é feita a drenagem do chorume, o qual é acarreado a uma estação de tratamento de efluentes. É feita a coleta dos gases através de extravasores para lançamento à atmosfera ou condução para queima ou reaproveitamento como combustível no próprio aterro. Após o depósito dos resíduos sólidos é feita a compactação, geralmente com tratores, com aproximadamente 60 cm de terra para cobertura, evitando assim mau cheiro e a presença de insetos, roedores e aves. Na Figura 4 é mostrado uma esquematização desse tipo de disposição.

Figura 4 - Esquematisação de um aterro sanitário.



Fonte: BUGLIA, 2015.

## 2.2 LEGISLAÇÃO

### 2.2.1 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

O tema da administração dos resíduos sólidos está amparado pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, onde, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determina as instruções, responsabilidades, princípios e objetivos que orientam os diversos integrantes na execução gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos baseado na lei nº 12.305/2010, descreve o planejamento por um grande período a nível nacional. Inicia identificando o cenário dos resíduos sólidos no país e definindo as metas, diretrizes, projetos, programas e ações direcionadas ao alcance dos objetivos da Lei para um período de 20 anos (BRASIL, 2010).

De acordo com a análise da situação atual no país, o Plano nacional estabelece dois cenários, o transformador e o realista. As metas nacionais primordiais para a administração de resíduos sólidos são a obtenção da globalização da coleta de RSU, a potencialização da restauração de resíduos, a disposição final correta dos rejeitos e o fim dos lixões (BRASIL, 2010).

No cenário transformador considera-se a aprovação das reformas que resultam na estabilidade fiscal, a definitiva instalação de ações direcionadas para o crescimento da produtividade e de aplicações na economia, principalmente nos serviços básicos da sociedade e progresso tecnológico. No cenário realista considera-se que a economia brasileira crescerá constantemente, de forma moderada, no intervalo de 2021 a 2040, período em que as reformas

estruturantes serão executadas na direção da reforma previdenciária já realizada em 2019, buscando a adequação das contas públicas de forma fundamentada. Se diferencia do cenário transformador, pois haverá procura para melhoria da segurança jurídica, diminuição dos gastos de conformidade tributária e crescimento na área de negócios (BRASIL, 2010).

### **2.2.2 Plano Estadual de Resíduos Sólidos**

No que se trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os governos estaduais também devem exercer uma função de liderança, à vista disso, tão fundamental representam os Planos Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS), os quais objetivam planejar e fornecer as normas gerais de controle para os municípios que fazem parte de cada Unidade Federativa (PNRS, 2012).

Para a elaboração dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos é preciso levar em consideração o conteúdo mínimo que está descrito no art. 17, incisos I a XII, da Lei nº 12.305/2010. Além disso, a vigência é por prazo indeterminado, com abrangência para toda a região do Estado, com limite de atividade de 20 anos e reavaliações a cada 4 anos (PNRS,2012).

No Estado de Goiás, a lei nº 14.248, de 29 de julho de 2002, estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos e determina procedimentos e normas de prevenção da poluição. Em seu art. 3, incisos I a III, é descrito que são objetivos da Política Estadual de Resíduos Sólidos:

- I – Preservar e recuperar a qualidade do meio ambiente;
- II – Preservar a saúde pública;
- III – Garantir a utilização adequada dos recursos naturais.

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (2019), com uma concepção de controle integrada, o Estado de Goiás procura recursos de engenharia para a disposição correta dos resíduos sólidos, tornando possível a gestão integrada de resíduos sólidos em toda a extensão goiana.

## **2.3 ATERRO SANITÁRIO**

Para Dourado, Júnior e Saiani (2014), em adição as vantagens ambientais, os aterros sanitários também podem produzir créditos de carbono, através da diminuição de emissão de

gases de efeito estufa, quando se queima ou se emprega o biogás produzido. Ainda, os aterros apresentam como principais vantagens:

- Controle da tecnologia para construção e manutenção;
- Diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e a chance de recuperação energética com base no biogás e do comércio de créditos de carbono;
- Diminuição e destinação do chorume para tratamento;
- Redução dos riscos à saúde pública provocados pelos próprios resíduos e animais que rodeiam os lixões;
- Diminuição do trabalho de catadores na área;
- Decomposição controlada dos resíduos.

Para que um aterro sanitário seja devidamente licenciado, além do projeto o mesmo deve apresentar os elementos de engenharia necessários para tratar de forma correta os RSU. Estes elementos devem ser satisfatoriamente apresentados e especificados, com representação de desenhos, esquemas, detalhes etc. Os elementos de projeto constituintes de um aterro sanitário são: Sistema de drenagem superficial; Sistema de drenagem e remoção de percolado; Sistema de tratamento do percolado; Impermeabilização inferior e/ou superior e Sistema de drenagem de gás (DOURADO, JÚNIOR E SAIANI, 2014).

### **2.3.1 Dimensionamento**

A NBR 8419 (ABNT, 1992), define os requisitos mínimos exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, juntamente com a Portaria nº 053, de 01/03/79, do Ministério do Interior que dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos.

Ainda segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) o projeto de aterro sanitário deve ser de responsabilidade e assinado por profissional devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). Além disso, todos os registros e plantas referentes ao projeto devem ter assinatura e número de registro no CREA do responsável, com especificação da Anotação da Responsabilidade Técnica (ART).

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992) os projetos desenvolvidos devem estar com as unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades (SI) e os desenhos segundo as normas brasileiras aplicáveis. Além disso, devem conter de forma obrigatória os seguintes

elementos: memorial descritivo; memorial técnico; cronograma de execução e estimativa de custos; desenhos e; eventuais anexos.

É importante que todos os elementos de projeto sejam bem descritos e especificados, com apresentação de desenhos, esquemas, detalhes etc. Com isso o memorial descritivo deve conter de acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992): informações cadastrais; informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário; caracterização do local destinado ao aterro sanitário; concepção e justificativa do projeto; descrição e especificações dos elementos do projeto; operação do aterro sanitário; uso futuro da área do aterro sanitário.

É necessário que seja apresentado um plano com as condições específicas para o uso futuro da área do aterro sanitário, além disso, é preciso considerar que de acordo com o uso futuro proposto, o Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção Ambiental (OECPA) pode solicitar dados complementares que possibilitam analisar a viabilidade e retificação do projeto diante às questões apresentadas (ABNT, 1992).

O aterro sanitário deverá incluir os seguintes componentes que são considerados básicos: Portaria; Balança; Cerca para impedir a entrada de pessoas e animais; Vias de acesso interno transitáveis; Cinturão verde ao redor do aterro; Guarita para o controle da entrada de veículos; Sistema de controle da quantidade e do tipo de resíduo; Escritório para o desenvolvimento de atividade administrativa; Oficina de manutenção e guarda de equipamentos; Sistema de comunicação interna e externa; Iluminação para operação noturna; Banheiros; Refeitórios; Identificação do local; Acessos às frentes de aterramento (ABNT, 1992).

### **2.3.1 Sistema de drenagem superficial**

Nos projetos de aterro, é necessário estabelecer um método de drenagem das águas superficiais para impedir que as águas escoem para a região do aterro, impedindo que cheguem nos resíduos e levem poluentes ao lençol freático. Também são utilizados para receber e afastar as águas que caem diretamente sobre ele. No dimensionamento do sistema, deve ser respeitado um período de retorno de no mínimo 5 anos (MORAIS, 2018).

A Figura 5 apresenta o sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno, o qual tem a finalidade de captar a água da chuva durante e após a vida útil do aterro, evitando infiltração no solo já compactado, o que caso aconteça, pode causar o aumento do volume de percolado e sobrecarregar o sistema de drenagem interna (MORAIS, 2018).

**Figura 5** - Sistema de drenagem superficial do tipo colchão Reno.



Fonte: Adaptado de Santos, 2019.

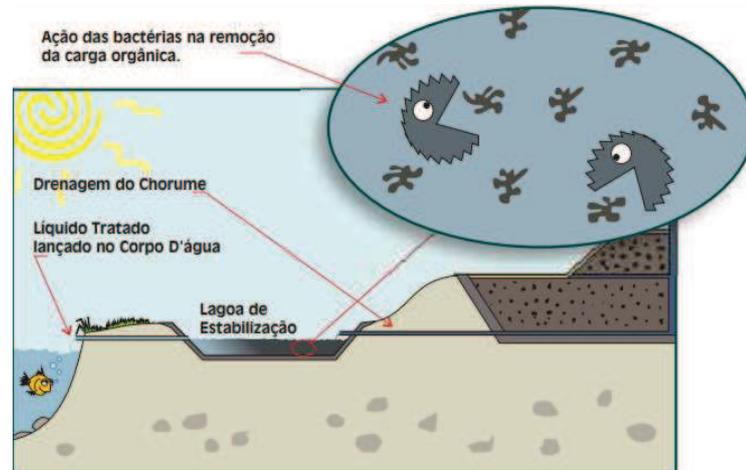
A NBR 8419 (ABNT, 1992) descreve os principais elementos que devem estar presentes no sistema de drenagem superficial, sendo: indicação da vazão de seleção do sistema; o layout do canal plano, com proporção não é inferior a 1:1000; indicação da seção transversal e declive do fundo do canal em todas as seções; uma descrição do tipo de revestimento do canal (se houver) e os materiais usados; indicação do local onde é despejada a água captada pelo canal; informações detalhadas de todas as singularidades existentes, como alargamento de seção transversal ou gargalos, curvas, etapas, trabalho de dissipação de energia etc.

### **2.3.2 Sistema de drenagem e remoção de percolado**

As águas pluviais que incidem sobre o aterro, escoam até ele e geram contratempos na sua operação. Para solucionar esse problema é indicado abrir valetas a meia encosta ou uma canaleta em volta de todo o aterro, adequar o caimento apropriado à cobertura diária do aterro, para evitar escoamentos. Tais líquidos percolados, seja águas externas infiltradas ou líquidos contidos nos próprios resíduos que possam alcançar o lençol freático, precisam ser coletados e removidos. O volume de água recolhido deve ser levado para um local distante, onde não gere danos ao aterro sanitário (OBLADEN, 2009).

A Figura 6 mostra um esquema do sistema de drenagem e remoção do percolado, que é conhecido como chorume, o qual escoo durante o processo de decomposição do lixo (BIDONE; POVINELLI, 1999).

**Figura 6** - Sistema de drenagem e remoção do percolato.



Fonte: Adaptado de Governo Do Estado Da Bahia, 2010.

Deve-se projetar um sistema de drenagem superficial para área do aterro, com finalidade de evitar a entrada deste volume de água nas trincheiras, propiciando a retirada rápida dela no local dos resíduos, impedindo a geração de poças d'água e solo com muita umidade. Os sistemas de coleta devem possuir declividade de 1% no mínimo em todos os pontos, favorecendo a gravidade até os tanques, onde são removidos (MORAIS, 2018).

A NBR 8419 (ABNT, 1992) descreve os principais elementos que devem estar presentes no sistema de drenagem e remoção de percolato: estimativa da quantidade de lixiviado que precisa ser despejado e removido; a disposição desses elementos, com proporção não é inferior a 1: 2000; o tamanho desses componentes; os materiais utilizados e suas especificações; o sistema visualiza perfeitamente os cortes e detalhes necessários.

### 2.3.3 Sistema de tratamento do percolato

Em um sistema de tratamento de percolato, o material recebe tratamento antes de ser despejado em um curso d'água. O tratamento pode ser feito no local, conforme especificações, ou o percolato coletado pode ser encaminhado para local correto (geralmente uma Estação de Tratamento de Esgoto). O sistema de estabilização de tanques é muito simples para o tratamento de esgoto, podendo ser alterado de acordo com a operação e as necessidades da área (CETESB, 1990).

A Figura 7 apresenta o sistema de tratamento do percolato onde logo após ser capturado, o percolato deve passar por processos de tratamento, tais como: sistema de lagoa de

estabilização, filtro biológico, pré-tratamento, reciclagem, entre outros, para reduzir sua carga orgânica, para então ser lançado na natureza (PEROTTI, 2020).

**Figura 7** - Sistema tratamento percolado.



Fonte: Cetrel, 2019.

Von Sperling (2002) divide a lagoa em primária e secundária, onde a primeira refere-se ao tratamento de esgoto não tratado e recebe a maior carga orgânica, enquanto a secundária recebe esgoto da unidade de tratamento anterior. O tanque de estabilização pretende simular fenômenos naturais, monitoramento e otimização, ou seja, sem a ajuda de artificios mecânicos (aeradores mecânicos, difusores), o que às vezes é preciso. Naturalmente, o oxigênio é gerado pelo vento ou fotossíntese por meio de algas.

Kellner e Pires (2000) garantem que o valor da concentração de oxigênio irá alterar conforme as previsões climáticas locais, veemência dos raios solares, período de exposição a luz, velocidade e direção do vento e outras condições climáticas. O uso de sistemas lagunares é amplamente utilizado no Brasil e é claramente favorecido em climas tropicais. A ideia principal do sistema de lagoa de estabilização é diminuir a aglomeração de matéria orgânica contendo carbono por meio do metabolismo dos microrganismos presentes no meio líquido, e eliminar patógenos na fase final do tratamento, como a situação na maturação ou tanque de polimento. (VON SPERLING *et al.*, 2011).

A NBR 8419 (ABNT, 1992) descreve os principais elementos que devem estar presentes no sistema de tratamento do percolado: estimativa da quantidade de lixiviado a ser tratada; a disposição desses elementos na planta; o tamanho e a capacidade desses componentes; os materiais utilizados e suas especificações; adaptação e detalhes necessários para perfeita visualização do sistema; a tecnologia utilizada, a sequência das operações e o tipo de tratamento.

### 2.3.4 Impermeabilização inferior e/ou superior

De acordo com ABNT (1992) é necessário o projeto de uma impermeabilização na parte de baixo e por cima do aterro sanitário, quando requisitado pelo Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção Ambiental.

Caso seja preciso a impermeabilização, deve ser descrito o tipo de impermeabilização que será aplicado e os elementos utilizados, com suas especificações e características de acordo com as respectivas normas brasileiras.

Os aterros sanitários devem dispor de proteção aos solos e as águas subterrâneas e superficiais, assim como mostrado na Figura 8, faz-se necessário a execução de camadas de impermeabilização à base de argila compactada, mantas de polietileno, entre outros (JARDIM; YOSHIDA; FILHO, 2012).

**Figura 8** - Instalação da manta de impermeabilização no Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Gabriel Jabur/Agência Brasília, 2017.

De acordo com Santos (2021), são duas vantagens principais da existência da camada mineral: Possui vida útil ilimitada, a não ser que haja algum impacto desfavorável na interação com os contaminantes; e por se referir a argila, o qual é um elemento reativo, que pode ajudar a controlar os contaminantes e, dessa forma, adiar ou impossibilitar o seu avanço. Já que os elementos sintéticos, que possuem em geral vida útil de 100 a 150 anos, não possuem essa propriedade.

Segundo a Resolução nº 005/2014 do Conselho Estadual do Meio Ambiente de Goiás (CEMAAn), a impermeabilização inferior através de documentação técnica (apresentada pelo

projetista) poderá não ser necessária, contanto que cumpra as exigências da NBR 15.849 (ABNT, 2010) (Tabela 2). Essa documentação deve ser afirmada com os ensaios estabelecidos pelas normas brasileiras pertinentes, especificando o Coeficiente de Permeabilidade do solo local (K).

**Tabela 2** - Critério para a dispensa de impermeabilização complementar.

Limites máximos do Excedente Hídrico <sup>(a)</sup> (E.H. mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar <sup>(b)</sup>		Fração orgânica dos resíduos < 30%				Fração orgânica dos resíduos > 30%			
		Profundidade do lençol freático (m)				Profundidade do lençol freático (m)			
		1,5<n≤3	3<n<6	6≤n<9	n>9	1,5<n≤3	3<n<6	6≤n<9	n>9
Coeficiente de permeabilidade do solo local “K” cm/s	$K \leq 10^{-6}$	250	500	1000	150 0	188	375	750	112 5
	$10^{-6} < K \leq 10^{-5}$	200	400	800	120 0	150	300	600	900
	$10^{-5} < K \leq 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

<sup>(a)</sup> O excedente hídrico e a quantidade de água (em mm/ano) que percola através da camada de cobertura do aterro sanitário, atingindo a massa de resíduos e posteriormente chegando até a base do aterro. Para seu cálculo devem ser utilizadas series anuais de precipitações médias de temperaturas (que servem para estimar a evapotranspiração utilizando equações como a de Thorntwaite) e o escoamento de escoamento superficial.

<sup>(b)</sup> Para superar características desfavoráveis da área, o projetista pode propor métodos construtivos, operacionais ou de gestão, atendendo diretrizes estabelecidas pelo órgão de meio ambiente.

Fonte: Adaptado de NBR 15.849 (ABNT, 2010).

### 2.3.5 Sistema de drenagem de gás

O sistema de drenagem de gases é de suma importância nos aterros sanitários, visto que a geração de biogás se dá através da decomposição dos resíduos orgânicos, que são compostos principalmente de metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), os quais podem oferecer risco de explosões e de desabamentos por geração de bolha de gás e como consequência ocasionar instabilidade mecânica (PHILIPPI JR, 2005).

Conforme a NBR 15.849 (ABNT, 2010), é necessário o projeto de um sistema para a drenagem de gás, com a possibilidade de associação ao sistema de drenagem de líquido percolado. Além disso, é preciso expor um detalhamento de todos os componentes desse sistema, o qual deve ser especificado: a localização em planta desses componentes, em escala acima de 1:2000; as medidas desses componentes; os materiais aplicados com suas especificações; os cortes e especificidades necessárias à melhor visualização do sistema.

Este sistema mediante documentação técnica (apresentada pelo projetista) poderá não ser necessária, contanto que cumpra o item 5.3.3 da NBR 15.849 (ABNT, 2010) (Tabela 3).

**Tabela 3** - Instruções para drenagem dos gases.

Característica da operação	Altura final do aterro (m)	
	≤ 3	> 3
Fração orgânica dos resíduos (%)	≤ 30	Dispensar <sup>(a)</sup>
	> 30	Considerar <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Os termos “dispensar” e “considerar” são de caráter orientativo, cabendo ao projetista decidir e justificar a adoção ou não deste elemento de proteção ambiental.

Fonte: Adaptado de NBR 15.849 (ABNT, 2010).

De acordo com a Resolução nº 005/2014 do CEMAn, a utilização de sistema de drenagem dos gases deve ser avaliada de acordo com a Tabela 3, principalmente quando forem consideráveis a fração orgânica existente nos resíduos a serem dispostos e a altura final do aterro sanitário de pequeno porte.

De acordo com Santos (2021) o sistema de drenagem do biogás geralmente é composto pelo mesmo dreno vertical empregado para a drenagem do lixiviado. O biogás se desloca para a superfície e dessa maneira pode ser levado para aproveitamento energético, como geração de energia elétrica, ou ser queimado em queimadores do tipo *flare*, assim mostrado na Figura 9.

**Figura 9** - Queimador do tipo flare.



Fonte: Adaptado de Combustec, 2018.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O estudo foi realizado no município de Jaraguá, localizado na região Central do estado de Goiás (Figura10), tem uma extensão significativa com uma área territorial de 1.849,552 km, totalizando 52.160 habitantes e uma produção de resíduos estimada em 1.034,82 ton/mês (IBGE, 2021).

A cidade de Jaraguá não apresenta aterro sanitário e conta como local para disposição dos RSU um Lixão que fica localizado às margens da Rodovia BR-153, a menos de 5 km da cidade e bem próximo ao posto da Polícia Rodoviária Federal (PRF), cujas coordenadas geográficas são: latitude 15° 46' 45" S e longitude 49° 18' 24 W (FÉLIX, 2020).

**Figura 10** - Localização de Jaraguá-GO em relação ao estado de Goiás.



Fonte: Google Maps, 2021.

#### 3.2 ANÁLISE DA ADMINISTRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL

Nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 foi realizada visita técnica na prefeitura do município de Jaraguá – GO, onde foram coletados os dados sobre a administração dos resíduos sólidos do município, através de relatórios, planilhas, documentos disponibilizados pela prefeitura. Os documentos foram analisados com objetivo de entender os métodos de disposição

e tratamento de RSU utilizados atualmente e então elaborar um planejamento estratégico de coleta, transporte e tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Os dados foram utilizados para obtenção da quantidade de veículos que fazem a coleta de resíduos na cidade e dos quantitativos de RSU recolhidos diariamente. Além disso, foi analisado como funciona a atual administração do lixão presente na cidade e quais métodos são utilizados para minimizar seus impactos no meio ambiente. Com os dados realizou-se uma análise do cenário real encontrado na cidade atualmente e então iniciou-se a elaboração do planejamento que visa atender a população pelos próximos 20 anos.

Foi realizado um levantamento quantitativo dos veículos que atuam na coleta dos resíduos na cidade, se verificado que os veículos atendem a população atual, tais dados servirão de base para o cálculo da coleta para os próximos anos, caso contrário de acordo com o estudo da população de projeto foi calculado a quantidade ideal para atender o município. Outro ponto importante verificado foi a eficácia do cronograma de coleta de RSU.

O plano de gerenciamento propôs a inserção do aterro sanitário na cidade de Jaraguá, relacionando as informações obtidas nos cálculos e levantamentos técnicos, trazendo possibilidades adequadas às características do meio físico local, quantidade de resíduos gerada, redução dos impactos ambientais, disponibilidade de recursos econômicos e qualificação da mão-de-obra local.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO

#### 3.4.1 Estimativa da população de projeto

Inicialmente calculou-se uma estimativa da população de projeto para um período de 20 anos, e posteriormente a quantidade de resíduos sólidos que serão produzidos nesse período. Assim, teve-se a estimativa da área de projeto, o qual é baseado na população de cálculo para um aterro com 20 anos de vida útil.

Para a estimativa de população foram utilizados três métodos de cálculo, o método aritmético, o método geométrico e o método da curva logística. A descrição de cálculo de cada um dos métodos é apresentada a seguir.

a) Método aritmético:

$$P = P_0 + K_a \cdot (t - t_0) \quad (1)$$

$$K_a = \frac{P_f - P_0}{t_f - t_0} \quad (2)$$

Onde,

$K_a$  = taxa ou razão de crescimento (hab/ano);

$P$  = população de projeto (hab);

$P_f$  = população final conhecida (hab);

$P_0$  = população inicial (hab);

$t$  = ano de projeção;

$t_f$  = ano da população final conhecida;

$t_0$  = ano da população inicial.

b) Método geométrico:

$$P = P_0 \cdot e^{k_g \cdot (t - t_0)} \quad (3)$$

$$k_g = \frac{\ln P_f - \ln P_0}{t_f - t_0} \quad (4)$$

Onde,

$K_g$  = razão da progressão geométrica;

$P$  = população de projeto (hab.);

$P_f$  = população final (hab.);

$P_0$  = população inicial (hab.);

$t$  = ano de projeção;

$t_f$  = ano da população final;

$t_0$  = ano da população inicial.

c) Método mínimos quadrados:

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{k_1 \cdot (t - t_0)}} \quad (5)$$

$$P_s = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \cdot P_f - P_1^2 \cdot (P_0 + P_f)}{P_0 \cdot P_f - P_1^2} \quad (6)$$

$$c = \frac{P_s - P_0}{P_0} \quad (7)$$

$$k_1 = \frac{1}{t_f - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right] \quad (8)$$

Onde,

$K_1, c$  = coeficientes;

$P_s$  = população de saturação;

$P_0$  = população inicial conhecida;

$P_f$  = população final conhecida;

$P_t$  = população de projeto;

$t_f$  = ano final conhecido;

$t_0$  = ano inicial conhecido;

$t$  = ano final de projeto.

Sendo assim, foi avaliado os três métodos de estimativa de projeto, e foi adotado a metodologia que mais se adequou aos requisitos da população da cidade e ao dimensionamento do aterro sanitário.

### 3.5.3 Elementos de projeto

#### 3.5.3.1 Dimensionamento das trincheiras

Para o dimensionamento das trincheiras é preciso levar em consideração os dados de cálculo: População básica de projeto; Peso específico do lixo urbano ( $\gamma$ ); Coeficiente de compactação do lixo (CC); Produção média de lixo; Horizonte de planejamento (20 anos). Assim calculando-se o volume diário de resíduos gerados, juntamente com o volume ocupado pelo material de cobertura e, com isso é obtido o volume que cada vala comporta de acordo com os resíduos gerados por determinado tempo.

Inicialmente calculando-se a quantidade de lixo produzido (LP) pela população do município durante um dia, conforme é apresentado na Equação 9.

$$LP = \text{População} \cdot \text{produção diária per capita} \quad (9)$$

Em seguida calcula-se o volume de lixo (VL) que deve ser acondicionado, conforme Equação 10.

$$VL = LP \cdot \gamma \quad (10)$$

Para o cálculo do Volume de Lixo Reduzido pela compactação (VLR) é utilizado a Equação 11.

$$VLR = LP \cdot CC \quad (11)$$

Para o cálculo do Volume de Lixo Reduzido Anual (VRA) é aplicada a Equação 12.

$$VRA = 365 \text{ dias} \cdot VLR \quad (12)$$

O volume útil de cada trincheira é baseado nos cálculos de produção de lixo. Já para o cálculo do tempo Mínimo de Utilização do Aterro (Tu) tem-se a Equação 13.

$$Tu = \frac{VT}{VRA} \quad (13)$$

Com isso, considera-se o formato de trapézio com altura (h), base maior (ba) e base menor (be), para assim estabelecer o comprimento da trincheira (L) através da Equação 14.

$$L = \frac{Vt}{\text{área}} \quad (14)$$

Para a área superficial (As) tem-se a Equação 15.

$$As = L \cdot Ba \quad (15)$$

Conforme os resultados obtidos, calcula-se a quantidade de valas necessárias ao aterro no período de 20 anos.

### 3.5.3.2 Impermeabilização inferior e/ou superior

Conforme estabelecido na NBR 8419 (ABNT, 1992) no dimensionamento do aterro sanitário no município de Jaraguá a impermeabilização da parte inferior do aterro deve feita com uso de geomembrana sintética (manta impermeável de PEAD), com 2,0 mm de espessura e sobre esta manta uma camada de 0,60 metros de argila.

Para o cálculo da manta para uma vala considera-se 1,5 metro de ancoragem em cada lado. Assim a direção da trincheira é obtida através da Equação 16 e a direção do comprimento da trincheira pela Equação 17. A ancoragem pela Equação 18.

$$\text{Area lado menor} = \frac{((C1 + C2) \cdot a)}{2} \quad (16)$$

$$\text{Area lado maior} = \frac{((L1 + L2) \cdot a)}{2} \quad (17)$$

$$\text{Ancoragem} = ((C2 + 3) \cdot (L2 + 3)) - (C2 \cdot L2) \quad (18)$$

Onde:

C1 = Comprimento menor da trincheira;

C2 = Comprimento maior da trincheira;

L1 = Largura menor da trincheira;

L2 = Largura maior da trincheira;

a = Altura da trincheira;

Assim, para determinar a área necessária para a manta, tem-se a Equação 19.

$$\text{Area total} = (\text{Lado maior} \cdot 2) + (\text{Lado menor} \cdot 2) + \text{Ancoragem} \quad (19)$$

### 3.5.3.3 Sistema de drenagem e remoção de percolado

Esse sistema coleta e conduz o líquido percolado para o tratamento, com a finalidade de diminuir a pressão que o líquido exerce sobre a massa de resíduo e, também, garantir que não haja infiltração e conseqüente contaminação do solo.

O sistema deve ser composto por drenos horizontais, posicionados em formato de espinha de peixe, com declividade de fundo de pelo menos 2%, integrado de um conjunto de valas subsuperficiais, preenchidas com material granular drenante, e gradualmente implantadas, ocupando todo o fundo das trincheiras do aterro, dando eficiência para a captação e escoamento dos líquidos que percorrem a massa do aterro para a lagoa de acumulação, à qual deve estar situada em uma profundidade de cota mais baixa ao aterro. O revestimento do dreno deve ser de manta geotêxtil para impedir seu aterramento e conseqüente perda de operação.

O dimensionamento do sistema de drenagem é feito através do cálculo da vazão a ser drenada, considerando o balanço hídrico e na estrutura da massa de resíduo. Para os cálculos utiliza-se a Equação 20.

$$Q = \left(\frac{1}{t}\right) \cdot P \cdot A \cdot K \quad (20)$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm/ano);

Q = vazão média (L/s);

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

t = número de segundos em 1 ano (31.536.000);

K = coeficiente dependente do grau de compactação dos resíduos.

O coeficiente K é dado na Tabela 4, onde seu valor depende do grau de compactação dos resíduos dispostos no aterro sanitário.

**Tabela 4** - Volume dos Resíduos Sólidos.

<b>Peso Específico dos Resíduos no Aterro</b>	<b>K (adimensional)</b>
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).

Em seguida é calculado o diâmetro do tubo interno que faz a drenagem do lixiviado. Para isso determina-se a área da seção circular e posteriormente seu raio.

$$Q = A \cdot V \quad (21)$$

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>);

V = velocidade de escoamento (m/s).

A área de uma seção circular se dá pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (22)$$

Assim, o diâmetro do tubo é:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (23)$$

Onde:

A = área da seção circular (m<sup>2</sup>);

D = diâmetro do tubo (m);

Com a drenagem do lixiviado, os líquidos são encaminhados para tratamento onde é feito a coleta de amostras para controle ambiental e análise do processo de digestão anaeróbia. Os tubos para a captação do lixiviado passam pela manta PEAD por meio de um flange.

Tendo dimensionado o diâmetro do tubo de escoamento é necessário determinar a distância entre os drenos, no método espinha de peixe a lâmina de lixiviados na base do aterro deve ser no máximo os 30 cm estabelecidos pela NBR 13896 (ABNT, 1997). Para tanto, a Equação 24 pode ser utilizada para espaçamento de drenos.

$$Esp = 2 \cdot Y_{m\acute{a}x} \cdot \sqrt{\frac{K}{perc}} \quad (24)$$

Onde:

$Y_{\text{máx}}$  = altura máxima da lâmina de lixiviado entre drenos adjacentes (m);

perc = água percolada (mm);

K= coeficiente de permeabilidade dos RSU;

#### 3.5.3.4 Sistema de tratamento do percolado

Seguindo a descrição da NBR 8419:1992, estima-se a quantidade de lixiviado a ser tratado dentro do aterro sanitário. Para escolher o método que melhor atende a situação é avaliado o volume de percolado que o aterro recebe, sua composição e analisada a capacidade financeira dos órgãos responsáveis por manter o funcionamento adequado.

Para o tratamento do chorume deve-se levar em consideração a redução de sua carga poluente em condições aceitáveis para sua disposição final em solo ou em corpo hídrico (ex.: rios), conforme legislação. A forma de tratamento mais empregada é através de lagoa aeróbia precedida de um gradeamento e de lagoa facultativa.

A degradação é dividida em três macro fases, as quais permitem determinar a idade do aterro em termos de degradação biológica: fase ácida (aterro jovem): a qual ocorre a geração de ácido graxos voláteis e alto grau de carga orgânica; fase metanogênica (aterro velho): geração do gás metano, pH levemente alcalino e níveis mais baixos nas concentrações do lixiviado; fase de maturação (aterro estabilizado): as emissões diminuem até valores insignificantes.

Após a definição da vazão média do percolado e utilização da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) estimada, obtém-se a carga orgânica diária a ser tratada, isto é, os quilogramas de oxigênio necessários, diariamente, para estabilização biológica do percolado. Para os cálculos utiliza-se a Equação 25.

$$L = \frac{Q \cdot S_o}{1000} \quad (25)$$

Onde:

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

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

S<sub>0</sub> = DBO entrada (mg/L).

Posteriormente é calculado o volume da lagoa anaeróbica, o qual é necessário definir a taxa de aplicação volumétrica, que pode variar de 0,1 a 0,3 kg de DBO/m<sup>3</sup>. dia, quanto maiores as temperaturas, maiores as taxas que se podem usar no projeto. Assim segue conforme Equação 26:

$$V = \frac{L}{L_v} \quad (26)$$

Onde:

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

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

L<sub>v</sub> = taxa de aplicação volumétrica (kg. DBO<sub>5,20</sub>/m<sup>3</sup>. d).

Assim calcula-se o tempo de detenção hidráulica, de acordo com a Equação 27:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (27)$$

Onde:

t = tempo de detenção hidráulica (em dias)

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

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

Geralmente a profundidade (h) das lagoas anaeróbias varia de 3 m a 5 m. Adotando-se uma profundidade de projeto, calcula-se a área (A) necessária para a lagoa, como se segue na Equação 28:

$$A = \frac{V}{h} \quad (28)$$

Onde:

A = área necessária para a lagoa (m<sup>2</sup>);

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

h = profundidade da lagoa (m).

As medidas adotadas devem ser projetadas para que a lagoa tenha relação comprimento/largura de 1:1 (quadrada) ou 2:1 (retangular). Assim, calculada a área e determinada a relação de dimensões, prevê-se a largura e o comprimento da lagoa anaeróbia.

Para as lagoas anaeróbias, a eficiência de remoção é da ordem de 50%. Assim a DBO de saída (S) pode ser calculada da Equação 29:

$$E = \frac{S - S_o}{S_o} \cdot 100 \quad (29)$$

Onde:

E = eficiência de remoção de DBO;

S = DBO de saída (mg/L);

S<sub>o</sub> = DBO de entrada (mg/L);

Já em relação a lagoa facultativa, ela possui pouca profundidade e grande área. A DBO solúvel é particulada e estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido e a DBO suspensa tende a sedimentar-se, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.

Assim, com a Equação 30 é calculada a carga afluyente à lagoa facultativa:

$$L = \frac{Q \cdot S_o}{1000} \quad (30)$$

Onde:

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

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

S<sub>o</sub> = DBO entrada (mg/L). (= DBO efluente da lagoa anaeróbia).

A área necessária para a lagoa facultativa é dada pela Equação 31:

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (31)$$

Onde:

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

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

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

A taxa de aplicação superficial ( $L_s$ ) baseia-se na necessidade de se ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa para que ocorra a fotossíntese, possibilitando a produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda para a estabilização da matéria orgânica.

Assim, os valores de  $L_s$ :

- Regiões de inverno quente e elevada insolação:  $L_s = 240$  a  $350$  kg DBO/ha.d;
- Regiões de inverno e insolação moderados:  $L_s = 120$  a  $240$  kg DBO/ha.d;
- Regiões com inverno frio e baixa insolação:  $L_s = 100$  a  $180$  kg DBO/ha.d

A profundidade ( $h$ ) da lagoa facultativa para tratamento de esgotos varia de 1,0 a 2,0 metros. Uma vez que os lixiviados, possuem concentrações bem mais elevadas em relação aos esgotos domésticos, assim, com a entrada de luz nas lagoas, recomenda-se que sejam utilizadas alturas menores, na ordem de 0,6 m a 1,2 m.

Adotando-se uma altura  $h$ , calcula-se o volume  $V$  pela Equação 32:

$$V = A \cdot h \quad (32)$$

Onde:

$A$  = área da lagoa ( $m^2$ );

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

$h$  = profundidade da lagoa (m).

Com o valor do volume  $V$  da lagoa facultativa, o tempo de detenção hidráulica é calculado como no dimensionamento da lagoa anaeróbia (Equação 27). As dimensões da lagoa facultativa vão de 2,5:1 até 4:1 (comprimento/largura).

Por fim a DBO efluente de uma lagoa facultativa é dado pela Equação 33:

$$S = \frac{S_o}{(1 + k \cdot t)} \quad (33)$$

Onde:

$S$  = DBO de saída (mg/L);

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

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

$k$  = coeficiente cinético (0,1 a 0,35 d-1).

Para calcular a eficiência de remoção de DBO em uma lagoa facultativa, utiliza-se a mesma Equação da lagoa anaeróbia (Equação 29).

### 3.5.3.5 Sistema de drenagem e tratamento do biogás

O sistema de gás é dimensionado integrado com o sistema de coleta de chorume, onde os gases gerados são levados através de drenos verticais colocados em pontos estratégicos do aterro, em suas bordas são instalados queimadores de gases, com a finalidade de prevenir mau cheiro e poluição da camada de ozônio. É considerada estimativa entre 1,19 e 6,8 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de resíduos domiciliares. Conforme a produção de resíduos no aterro de Jaraguá, obtém-se média dos gases que serão gerados.

A taxa proposta por Rees (1980) é de 0,4 m<sup>3</sup> de biogás para cada kg de resíduos, sendo assim possível determinar o volume de gás gerado.

A fim de se obter um maior rendimento na drenagem dos gases e líquidos do aterro, é feita uma interligação dos drenos horizontais, ou seja, o percolado e os drenos verticais dos gases. Assim, para o sistema de drenagem de gases de aterros, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais para a retirada do gás dos aterros.

Para dimensionar o dreno vertical, podem-se utilizar equações de fluxo de fluidos (neste caso um gás) em meios porosos (brita) ou mesmo em tubulações. Porém, 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, sendo preenchidos com rocha brita 3, 4 ou 5. Aterros maiores e de maior altura podem possuir drenos verticais de até 150 cm de diâmetro

No projeto, a distribuição em planta dos drenos verticais de gases é feita considerando-se um raio de influência, ou de captação de biogás, de cada dreno, que pode variar de 15 m a 30 m. Sugere-se que, quanto maior for a altura, menor seja o raio de influência de projeto de cada dreno. Para o cálculo da distância entre os drenos utiliza-se a Equação 34:

$$x = 2 \cdot r \cdot \cos 30^\circ \quad (34)$$

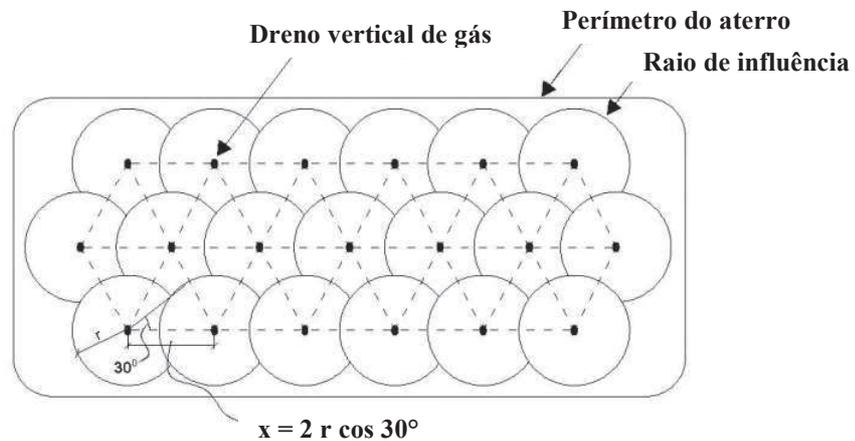
Onde:

$r$  = raio de influência adotado;

$x$  = espaçamento entre os drenos;

Em virtude da definição do raio de influência de cada dreno, faz-se a distribuição dos drenos verticais em planta, com a finalidade de haver sobreposição dos raios de influência, assim como mostrado na Figura 11:

**Figura 11** - Distribuição dos drenos verticais com a sobreposição dos raios de influência.



Fonte: Adaptado de ReCESA, 2008.

Depois de drenado, o biogás é encaminhado para o tratamento. A forma mais usual e barata de se tratar o biogás é queimá-lo, pois dessa forma minimiza-se o efeito poluidor causado por ele na atmosfera.

### 3.5.3.6 Sistema de drenagem superficial

Para o projeto do sistema de drenagem superficial deve ser observado o relevo da área, e assim de forma simples deve-se executar as canaletas abertas manualmente, dando preferência para que o curso das águas seja na direção do fluxo de escoamento superficial. A finalidade disso é impossibilitar a entrada de água nas trincheiras, beneficiando para remoção rápida dela do local de disposição de resíduos, evitando a formação de poças de água e solo muito úmido, o que tornaria difícil o acesso. Por se tratar apenas de águas pluviais, não há necessidade de

qualquer forma de tratamento, ou seja, é promovido apenas o abastecimento dos lençóis freáticos locais.

Com isso, para o dimensionamento do canal para coleta de águas pluviais é utilizado a seguinte Equação 35:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I_m \cdot A \quad (35)$$

Onde:

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

$C$  = coeficiente de escoamento superficial ou de deflúvio (adimensional);

$I_m$  = intensidade média de precipitação (mm/hora);

$A$  = área total da bacia de drenagem (km<sup>2</sup>);

0,278 = coeficiente resultante do arranjo das unidades dos parâmetros usados.

Para determinar o coeficiente de escoamento superficial ( $c$ ) é necessário verificar o tipo de solo, cobertura do solo e a declividade do terreno, de acordo com a Tabela 5:

**Tabela 5** - 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).

Dessa forma, para o aterro são empregadas canaletas de drenagem executadas nos espaços adjacentes da trincheira, juntamente com um projeto de cobertura temporária em lona sobre a trincheira, para o período de novembro a março em que há maior intensidade das chuvas. Assim, corroborando também para que os colaboradores do aterro tenham melhores condições de trabalho.

Para dimensionamento do canal tem-se a Equação 36:

$$Q = A \cdot V \quad (36)$$

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

A = área da seção transversal (m<sup>2</sup>);

V = velocidade de escoamento (m/s)

Assim é preciso calcular a velocidade de escoamento, determinada pela fórmula de Chézy, com o coeficiente de Manning (Botelho, 1985), conforme a Equação 37 e 38:

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (38)$$

Onde:

n = coeficiente de rugosidade das paredes que varia entre 0,011 e 0,04: n = 0,011 para canais de perfeita construção; n = 0,013 para canais de concreto comum; e n = 0,025 para canais de terra com vegetação rasteira no fundo.

Rh = raio hidráulico (m);

i = declividade do canal (m/m);

Am = área molhada (m<sup>2</sup>);

Pm = perímetro molhado (m).

### 3.5.4 Operação do aterro sanitário e uso futuro da área

O aterro deve seguir uma rotina operacional, com o objetivo de o município operar o manejo adequado dos resíduos, garantindo sua operação segura e ininterrupta. Neste sentido, foi indicado algumas recomendações para o plano de execução, o qual descreve os procedimentos para recepção dos caminhões coletores, o sistema de monitoramento dos tipos de resíduos, seus volumes, quantidade e qualidade. É indicada a forma de distribuição dos resíduos nas valas e qual sequência de utilização delas. Assim, os procedimentos operacionais do aterro seguem as etapas de descarga do resíduo nos locais adequados do aterro, espalhamento do resíduo, compactação do resíduo e recobrimento. Enfim, define-se o uso futuro da área após o encerramento da vida útil do aterro sanitário dimensionado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DA ADMINISTRAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL

Conforme o Ministério do Meio Ambiente, no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), o Município de Jaraguá conta com a unidade de disposição final do tipo Lixão, o qual teve início da operação em 1986 e permanece em funcionamento atualmente. Localizado as margens da rodovia BR 153, sentido Jaraguá-Anápolis, o Lixão é mostrado na Figura 12.

**Figura 12** - Localização via satélite do Lixão da cidade de Jaraguá.



Fonte: Google Maps, 2022.

No município de Jaraguá a empresa atualmente responsável pelos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos do município é a Pinheiro Serviço – EIRELI, a qual tem a contratação sob o regime de empreitada por preço unitário, através do contrato administrativo nº 145/2021.

Para o recolhimento de resíduos sólidos, são utilizados os veículos com caçambas coletoras do tipo compactadora e caminhão com carroceria de madeira aberta, com capacidade adequada ao chassi. É feita a coleta e transporte de resíduos de edifícios, residências, estabelecimentos comerciais e de pequenas indústrias (resíduos industriais inertes).

Não estão entendidos na concepção de resíduos sólidos regularmente descartados pela população, para efeito de remoção obrigatória, terra, areia, restos de móveis, colchões e seus

similares, entulhos de obras públicas ou particulares, e resíduos comerciais e industriais que excederem a 25 (vinte e cinco) litros/dia por estabelecimento.

Para a realização do serviço, os colaboradores trajam uniforme completo, com camisetas, calças e calçados padronizados. Os funcionários operacionais possuem capas protetoras para os dias de chuva e colete refletivo para atividades no período noturno.

De acordo com a empresa de coleta, para a execução completa do serviço são necessários 1 caminhão com carroceria de madeira aberta, 2 caminhões coletores compactadores (CCC), trabalhando em 02 turnos, diurno e noturno, cada equipe de coleta é composta de 01 (um) motorista e 03 (três) coletores. Todos os CCCs possuem capacidade nominal de 12 m<sup>3</sup>. Além disso, é disponibilizado um caminhão com a mesma capacidade e características que será utilizado como reserva, caso algum caminhão tenha um mal funcionamento, a fim de que o serviço não sofra com interrupção. Na Figura 13 e apresentado o caminhão com carroceria aberta utilizado.

**Figura 13** - Caminhão de lixo com carroceria de madeira aberta (a) e coletor compactador (CCC) (b).



Fonte: Autores, 2022.

O Município de Jaraguá conta ainda com vários Distritos e Povoados. Os quais também recebem os serviços públicos de limpeza. Para tanto, foram definidas 02 (duas) equipes compostas por 03 (três) funcionários que fazem em forma de rodízio os serviços nos Distritos de Santa Bárbara, Artulândia, Mirilândia, Chapeulândia, Monte Castelo, Alvelândia, Cruzeiroirinho, Cruzeiroão, Palestina e São Geraldo.

Assim, é realizado as operações de descarga dos resíduos coletados nos caminhões coletores compactadores no Lixão Municipal, sendo que a distância de um ponto médio da cidade, até o local de descarga é de 5 Km. A Figura 14 mostra a situação atual do local de destinação de RSU.

**Figura 14** - Local de destinação de Resíduos Sólidos Urbanos de Jaraguá-GO (Lixão).



Fonte: Autores, 2022.

No local, não há uma preparação para o despejo dos resíduos, muito menos tratamento do chorume, que penetra o solo e pode contaminar o lençol freático. De modo geral, insetos, aves e roedores habitam essa área. É nítido que não houve um estudo preliminar para a escolha desse local, tampouco, medidas para amenizar o impacto ambiental causado pela crescente geração de resíduos, visto que o aumento na quantidade de resíduos encaminhados ao local é algo esperado pelo fator decorrente do aumento populacional.

Assim, como a maioria dos municípios brasileiros, o município de Jaraguá-GO utiliza um lixão como forma de disposição final dos resíduos sólidos, o qual causa diversos desconfortos para a população da região, bem como riscos à saúde pública, uma vez que em muitos casos são dispostos resíduos industriais e de serviços de saúde, e sobretudo causa vários prejuízos ao meio ambiente.

Enfim, feita a análise da administração atual dos resíduos da cidade de Jaraguá-GO é possível apontar que o serviço de coleta é realizado, porém, as maneiras corretas de disposição dos resíduos sólidos não estão sendo cumpridas, visto que os resíduos são recolhidos e seguem para a destinação final despejados no lixão.

## 4.2 PROJETO DO ATERRO SANITÁRIO

### 4.2.1 Estimativa da população de projeto e volume de resíduos sólidos

Para que seja realizado o projeto de aterro sanitário, é preciso levar em consideração dois parâmetros principais: a quantidade total de RSU ( $\text{ton.dia}^{-1}$ ) gerada e a geração per capita ( $\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$  ou  $\text{ton.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ) de resíduos da cidade de Jaraguá.

A população utilizada para elaboração do projeto do aterro foi estimada em um horizonte de 20 anos para a cidade de Jaraguá utilizando três modelos estatísticos. A partir disso determinou-se a quantidade de resíduos sólidos que serão produzidos neste período. Para o cálculo do volume de resíduos sólidos o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (2017) fornece a estimativa da geração per capita de resíduos, expressa na Tabela 6.

**Tabela 6** - Estimativa da geração per capita de RSU, por faixa populacional, para o estado de Goiás.

<b>Faixa populacional urbana para os municípios de Goiás (hab.)</b>	<b>Geração per capita projetada de RSU (kg/hab.dia)</b>
Até 5.000	0,46
5.001 a 10.000	0,46 a 0,52
10.001 a 20.000	0,52 a 0,58
20.001 a 50.000	0,58 a 0,67
50.001 a 100.000	0,67 a 0,74
100.001 a 200.000	0,74 a 0,80
200.001 a 500.000	0,80 a 0,89
500.001 a 1.300.000	0,89 a 0,99

Fonte: Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás, 2017.

Neste projeto foi considerado a geração per capita projetada de RSU de 0,71 kg/hab.dia, adotando a média para a população da cidade em estudo.

Para determinar a população de uma região no método aritmético utilizou-se as Equações 1 e 2. Para a realização dos cálculos de estimativa de população ao longo dos próximos anos foram coletados dados do IBGE como referência de população inicial conhecida.

**Tabela 7** - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método aritmético.

<b>Ano</b>	<b>População Total (hab)</b>	<b>Geração per capita de resíduos sólidos (kg/hab/dia)</b>	<b>Geração diária de resíduos sólidos (ton/dia)</b>	<b>Geração anual de resíduos sólidos (ton/ano)</b>
2021	52248	0,71	36,8	13445
2022	53157	0,71	37,5	13679
2023	54067	0,71	38,1	13913
2024	54976	0,71	38,8	14147
2025	55886	0,71	39,4	14381
2026	56796	0,71	40,0	14615
2027	57705	0,71	40,7	14849
2028	58615	0,71	41,3	15083
2029	59524	0,71	42,0	15317
2030	60434	0,71	42,6	15551
2031	61344	0,71	43,2	15785
2032	62253	0,71	43,9	16019
2033	63163	0,71	44,5	16253
2034	64072	0,71	45,2	16487
2035	64982	0,71	45,8	16721
2036	65892	0,71	46,5	16956
2037	66801	0,71	47,1	17190
2038	67711	0,71	47,7	17424
2039	68620	0,71	48,4	17658
2040	69530	0,71	49,0	17892
2041	70440	0,71	49,7	18126
2042	71349	0,71	50,3	18360
<b>Σ dos anos 2021 a 2042</b>			<b>958,5</b>	<b>349850</b>

Fonte: Autores, 2022.

Como mostrado na Tabela 7, em 2042 a cidade de Jaraguá terá uma população de 71.349 habitantes gerando um montante de 349.850 ton. de resíduos para o aterro dimensionado.

Para determinar a população de uma região no método geométrico utiliza-se as Equações 3 e 4. Para a base dos cálculos foram coletados dados do IBGE como referência de população inicial conhecida.

**Tabela 8** - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método geométrico.

<b>Ano</b>	<b>População Total (hab.)</b>	<b>Geração per capita de resíduos sólidos (kg/hab./dia)</b>	<b>Geração diária de resíduos sólidos (ton./dia)</b>	<b>Geração anual de resíduos sólidos (ton./ano)</b>
2021	52299	0,71	36,9	13458
2022	53279	0,71	37,6	13710
2023	54276	0,71	38,3	13967
2024	55293	0,71	39,0	14228
2025	56328	0,71	39,7	14495
2026	57383	0,71	40,5	14766
2027	58457	0,71	41,2	15043
2028	59552	0,71	42,0	15324
2029	60667	0,71	42,8	15611
2030	61803	0,71	43,6	15904
2031	62960	0,71	44,4	16201
2032	64139	0,71	45,2	16505
2033	65340	0,71	46,1	16814
2034	66564	0,71	46,9	17129
2035	67810	0,71	47,8	17449
2036	69080	0,71	48,7	17776
2037	70374	0,71	49,6	18109
2038	71692	0,71	50,5	18448
2039	73034	0,71	51,5	18793
2040	74402	0,71	52,5	19145
2041	75795	0,71	53,4	19504
2042	77214	0,71	54,4	19869
<b>Σ dos anos 2021 a 2042</b>			<b>992,5</b>	<b>362247</b>

Fonte: Autores, 2022.

Conforme Tabela 8, em 2042 a cidade de Jaraguá terá uma população estimada de 77.214 habitantes, gerando um montante de 362.247 ton. de resíduos para o aterro dimensionado.

Por fim, para determinar a população através do método dos mínimos quadrados utiliza-se as Equações 5, 6, 7 e 8. Como referência foi utilizado os dados de população inicial coletados do censo do IBGE.

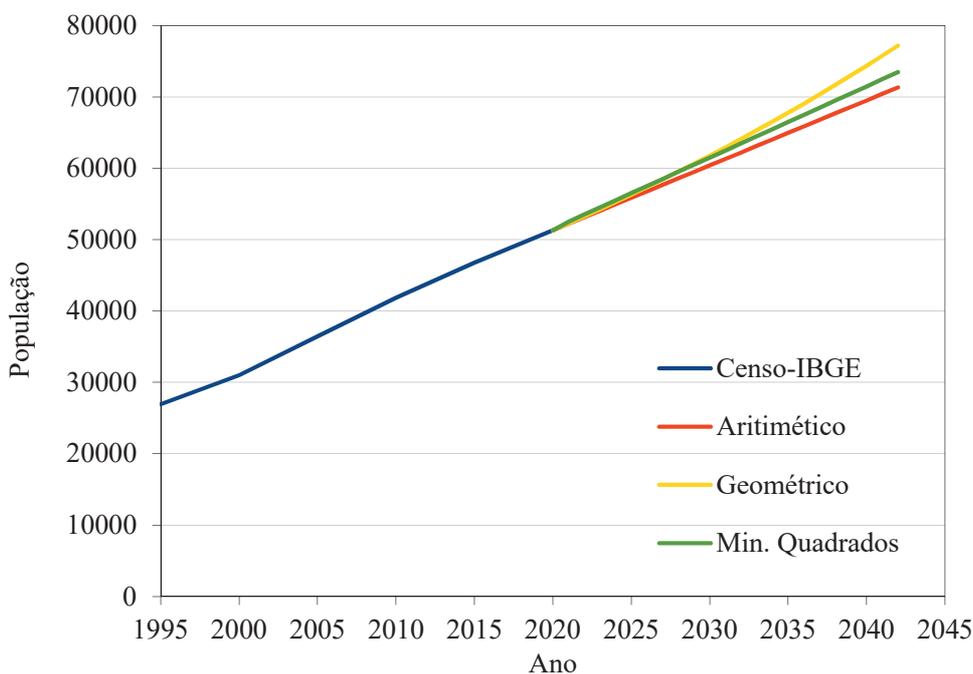
**Tabela 9** - Estimativa anual de população e geração de resíduos do município Jaraguá – Método de mínimos quadrados.

<b>Ano</b>	<b>População Total (hab.)</b>	<b>Geração per capita de resíduos sólidos (kg/hab./dia)</b>	<b>Geração diária de resíduos sólidos (ton./dia)</b>	<b>Geração anual de resíduos sólidos (ton./ano)</b>
2021	52545	0,71	37,0	13521
2022	53543	0,71	37,7	13778
2023	54540	0,71	38,5	14035
2024	55538	0,71	39,2	14291
2025	56536	0,71	39,9	14548
2026	57534	0,71	40,6	14805
2027	58531	0,71	41,3	15061
2028	59529	0,71	42,0	15318
2029	60527	0,71	42,7	15575
2030	61524	0,71	43,4	15832
2031	62522	0,71	44,1	16088
2032	63520	0,71	44,8	16345
2033	64517	0,71	45,5	16602
2034	65515	0,71	46,2	16859
2035	66513	0,71	46,9	17115
2036	67511	0,71	47,6	17372
2037	68508	0,71	48,3	17629
2038	69506	0,71	49,0	17886
2039	70504	0,71	49,7	18142
2040	71501	0,71	50,4	18399
2041	72499	0,71	51,1	18656
2042	73497	0,71	51,8	18913
<b>Σ dos anos 2021 a 2042</b>			<b>977,5</b>	<b>356771</b>

Fonte: Autores, 2022.

Com isso, em 2042 a cidade de Jaraguá terá uma população estimada de 73.497 habitantes, a qual terá um montante de 356.771 ton. de resíduos para o aterro dimensionado, conforme Tabela 9.

O Gráfico 1 traz uma representação visual das diferenças populacionais encontradas em cada método. Pode-se observar que não existe uma dispersão significativa nos resultados, o que valida todos os métodos de cálculo como potenciais na determinação de populações futuras.

**Gráfico 1** - Estimativa populacional do Município de Jaraguá.

Fonte: Autores, 2022.

A Tabela 10 demonstra os comparativos dos métodos aritmético, geométrico e dos mínimos quadrados.

**Tabela 10** - Comparativo População final dos métodos, Geométrico, Aritimético e Mínimos Quadrados.

Método	Ano	População Total (hab.)	Geração per capita de resíduos sólidos (kg/hab./dia)	Geração diária de resíduos sólidos (ton./dia)	Geração anual de resíduos sólidos (ton./ano)
<b>Aritimético</b>	2042	71349	0,71	50,3	18360
<b>Geométrico</b>	2042	77214	0,71	54,4	19869
<b>Mínimos quadrados</b>	2042	73497	0,71	51,8	18913

Fonte: Autores, 2022.

Considerando a precisão estimada entre os métodos, foi utilizada a projeção de população do método dos mínimos quadrados, visto que este método utiliza uma amostragem mais completa de dados em relação aos outros métodos (ARAÚJO et al., 2018). Assim, no projeto foi considerado para o dimensionamento uma população de 73.497 habitantes.

#### 4.2.2 Dimensionamento das trincheiras

Para o dimensionamento das trincheiras foram considerados os fatores de peso específico do lixo urbano igual a 0,23 ton./ m<sup>3</sup>, o coeficiente de compactação (CC) de 0,60 ton./ m<sup>3</sup>, e produção média de lixo igual a 0,71 kg/hab./dia (PREFEITURA MUNICIPAL DE COCALZINHO DE GOIAS, 2015).

Para isso, determinou-se o volume diário de resíduos sólidos, considerando o volume ocupado pelo material de cobertura, calculou-se o volume para a trincheira comportar os resíduos gerados, como pode ser visto na Tabela 11.

**Tabela 11** - Volume anual de resíduo produzido.

<b>Ano</b>	<b>Geração anual de resíduos sólidos (ton./ano)</b>	<b>Lixo diário produzido (ton./dia)</b>	<b>Volume diário acondicionado (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Volume Compactado (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Volume de Lixo Reduzido Anual (m<sup>3</sup>/ano)</b>
2021	13521	37,31	70,88	42,53	15523,42
2022	13778	38,02	72,23	43,34	15818,26
2023	14035	38,72	73,57	44,14	16112,81
2024	14291	39,43	74,92	44,95	16407,65
2025	14548	40,14	76,27	45,76	16702,49
2026	14805	40,85	77,61	46,57	16997,33
2027	15061	41,56	78,96	47,37	17291,87
2028	15318	42,27	80,30	48,18	17586,71
2029	15575	42,97	81,65	48,99	17881,55
2030	15832	43,68	83,00	49,80	18176,10
2031	16088	44,39	84,34	50,61	18470,94
2032	16345	45,10	85,69	51,41	18765,78
2033	16602	45,81	87,03	52,22	19060,32
2034	16859	46,52	88,38	53,03	19355,16
2035	17115	47,22	89,73	53,84	19650,00
2036	17372	47,93	91,07	54,64	19944,84
2037	17629	48,64	92,42	55,45	20239,39
2038	17886	49,35	93,76	56,26	20534,23
2039	18142	50,06	95,11	57,07	20829,07
2040	18399	50,77	96,45	57,87	21123,61
2041	18656	51,47	97,80	58,68	21418,45
2042	18913	52,18	99,15	59,49	21713,29
<b>Σ dos anos 2021 a 2042</b>					<b>409.603,26</b>

Fonte: Autores, 2022.

Considerando o volume total do aterro devem ser construídas 15 trincheiras de aproximadamente 27.807 m<sup>3</sup> cada, o suficiente para disposição de resíduos coletados durante o período de 20 meses em cada trincheira. Seu formato será trapezoidal, com base menor de 245 x 20 m, base maior 250 x 25 m e altura de 5 m, conforme a Figura 15.

**Figura 15** - Geometria da trincheira.



Fonte: Autores, 2022.

#### 4.2.3 Impermeabilização inferior e/ou superior

A impermeabilização considerada para parte inferior do aterro é feita com uso de geomembrana sintética (manta impermeável de PEAD), com 2,0 mm de espessura. Para a determinação da manta para uma vala considera-se 1,5 metro de ancoragem em cada lado. Assim faz-se necessário calcular a área da trincheira que receberá a manta. Equação 16,17,18 e 19 respectivamente.

$$\text{Area lado menor} = \frac{(245 \cdot 250) \cdot 5,6}{2}$$

$$\text{Area lado menor} = 1.386 \text{ m}^2$$

$$\text{Area lado maior} = \frac{(20 \cdot 25) \cdot 5,6}{2}$$

$$\text{Area lado maior} = 126 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancoragem} = ((250 + 3) \cdot (25 + 3)) - (250 \cdot 25)$$

$$\text{Ancoragem} = 834 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da trincheira} = (1386 \cdot 2) + (126 \cdot 2) + 834$$

$$\text{Área da trincheira} = 8.758 \text{ m}^2$$

Assim, considerando 1,5 m de ancoragem, cada trincheira receberá a manda PEAD de 8.758 m<sup>2</sup>, visto que todas as trincheiras foram dimensionadas com as mesmas dimensões.

#### 4.2.4 Sistema de drenagem e remoção de percolado

Para o dimensionamento, iniciou-se pela determinação da vazão do percolado produzido de acordo com a Equação 20, neste caso foi adotado o método suíço considerando os dados disponíveis para cálculo.

Neste sentido adotou-se o coeficiente de compactação dos resíduos de 0,6 t/m<sup>3</sup>, onde tem-se que o coeficiente K está entre de 0,25 a 0,5 (Tabela 4), assim foi considerado o valor de 0,30. Além disso, considerou-se um tempo em segundos durante um ano igual a 31.536.000 s, precipitação média anual da região é de 1.850 mm/ano (NASCIMENTO & NOVAIS, 2020), e a área da trincheira igual a 7.924 m<sup>2</sup>. Utilizando a Equação 20 tem-se:

$$Q = \left( \frac{1}{31536000} \right) \cdot 1850 \cdot 7924 \cdot 0,30$$

$$Q = 0,13945 \text{ l/s}$$

Assim, tem-se a vazão de 0,13945 l/s para uma trincheira do aterro sanitário. Em seguida foi calculado o diâmetro do tubo interno que fará a drenagem do lixiviado. Para isso determinou-se a área da seção circular e posteriormente seu raio.

Junior (2003) afirma que a velocidade de escoamento está na faixa é de 1 a 5 m/s, neste caso, foi adotado a velocidade média igual a 2,5 m/s, Equação 22.

$$A = \frac{0,13945 \cdot 10^{-3}}{2,5}$$

$$A = 5,5782 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

A área de uma seção circular é determinada pela Equação 21, sendo assim é possível calcular o diâmetro do tubo através da Equação 23.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5782 \cdot 10^{-5}}{\pi}}$$

$$D = 0,0084 \text{ m}$$

Assim o diâmetro é de 8,4 mm. Para a execução do aterro faz se necessário a aplicação de um diâmetro comercial, neste caso será adotado o diâmetro de 40 mm, devido ao volume muito pequeno produzido, deve-se utilizar o menor diâmetro comercial.

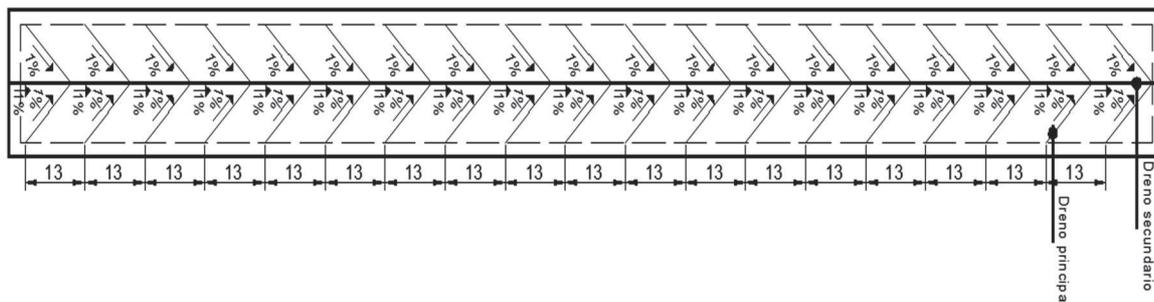
Assim é necessário determinar a distância entre os drenos, no método espinha de peixe a lâmina de lixiviados na base do aterro deve ser no máximo igual a 30 cm conforme estabelecido pela NBR 13896 (ABNT, 1997), a permeabilidade dos resíduos pode variar de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/s, será adotado  $10^{-5}$  cm/s ou 315.360 mm/ano (BARROS APUD REICHER (2007), será considerado 600 mm de água percolada. Para tanto, a Equação 24 pode ser utilizada o cálculo do espaçamento de drenos.

$$Esp = 2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{\frac{315360}{600}}$$

$$Esp = 13,75 \text{ m}$$

O espaçamento entre os drenos de lixiviados é de no máximo 13,75 metros, será adotado 13 metros no projeto, assim serão instalados 19 drenos em cada lado, levando os líquidos ao dreno principal, outra consideração é que os drenos são dimensionados e armazenados até uma parte do talude, elevação de  $\frac{1}{4}$  do talude, adicionando a brita 3 para cobrir os tubos com largura mínima de 40 cm e uma altura de 30 cm, com objetivo de proteger o dreno evitando o entupimento por solo de proteção (Figura 16) (REICHERT, 2007).

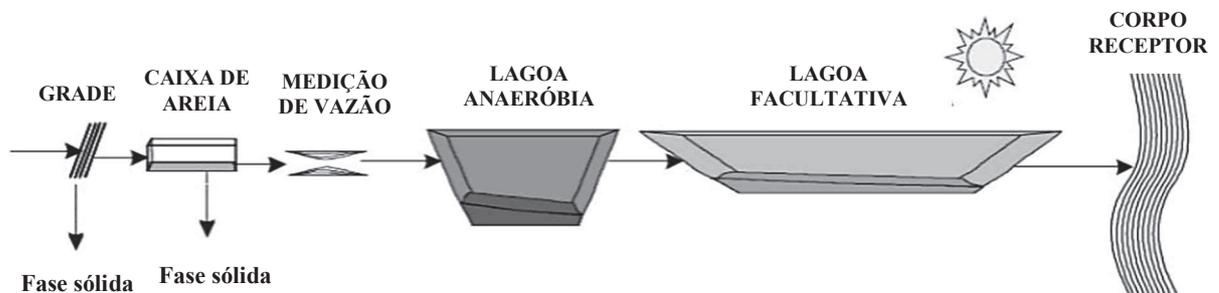
**Figura 16** - Sistema de drenagem.



#### 4.2.5 Sistema de tratamento do percolado

O tratamento do lixiviado envolve na redução de sua carga poluente em condições admissíveis para sua disposição final em solo ou em corpo hídrico. O tratamento geralmente é realizado através de lagoas de estabilização, as quais o chorume é decomposto biologicamente, pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias. Assim, nesse trabalho o método de tratamento utilizado é de lagoas anaeróbias e facultativas, já que mostra ser um tratamento satisfatório (VON SPERLING, 1996), conforme é mostrado no esquema da Figura 17.

Figura 17 - Esquema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa.



Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1996.

O lixiviado antes de chegar à primeira lagoa, deve passar por um gradeamento para evitar que sólidos passem pelas tubulações e fiquem retidos, causando obstrução das tubulações. Para a impermeabilização das lagoas é utilizado um sistema do tipo composto, com uma camada de manta PEAD de 2 mm e uma camada de argila de 70 cm.

A DBO é em torno de 40 % a 50 % estabilizada na lagoa anaeróbia, à qual é mais profunda e com menor volume, enquanto a DBO restante é removida na lagoa facultativa.

##### 4.2.5.1 Lagoa Anaeróbia

De acordo com Souto (2009), foi estabelecido que em aterros sanitários existe uma DBO de entrada em 80% dos casos, ou seja, as quais chegam a cargas orgânicas de aproximadamente 25.400 mg/L na fase ácida do aterro e 6.000 mg/l na fase metanogênica, levando em consideração que a fase ácida acontece de 3 meses a 3 anos num aterro sanitário e a fase metanogênica acontece de 8 anos a 40 anos.

Tendo em conta que na fase ácida são 2 trincheiras que totalizam 700 m<sup>2</sup> e na fase metanogênica são 13 trincheiras de 4.550 m<sup>2</sup>, e que a vazão de cada uma é de 0,13945 l/s, tem-se respectivamente uma vazão média afluyente de 24,10 m<sup>3</sup>/d e 156,63 m<sup>3</sup>/d.

Considerando esses dados pode-se calcular as cargas afluentes de DBO nas duas fases, utilizando a Equação 25, chegando aos resultados da Tabela 15.

**Tabela 12** - Cargas afluentes de DBO na fase ácida e metanogênica.

<b>Fase da lagoa anaeróbica</b>	<b>Vazão média afluyente (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>DBO entrada (mg/L)</b>	<b>Carga afluyente de DBO (kg de DBO/d)</b>
<b>Ácida</b>	24,10	25400	612,08
<b>Metanogênica</b>	156,63	6000	939,81
		<b>Σ das fases:</b>	<b>1551,89</b>

Fonte: Autores, 2022.

Assim a carga afluyente de DBO referente à fase ácida e à fase metanogênica, são de 612,08 kg de DBO/d. e 939,81 kg de DBO/d. respectivamente, com total de 1.551,89 kg de DBO/d. Para encontrar o valor de DBO de entrada (efluente) faz o isolamento do S<sub>0</sub> (DBO de entrada) na Equação 25, que resulta em 8.586,67 mg/l.

Com isso pode-se calcular o volume da lagoa por meio da Equação 26. Como a taxa de aplicação volumétrica L<sub>v</sub> é em função da temperatura do ar e varia entre 0,1 e 0,3 kg. DBO<sub>5,20</sub>/m<sup>3</sup>.d. foi considerado a taxa de 0,25 kg. DBO<sub>5,20</sub>/m<sup>3</sup>.d., já que o clima da cidade de Jaraguá é tropical. O resultado foi de 6.207,55 m<sup>3</sup> de volume.

Com esses valores calcula-se o tempo de detenção hidráulica com a Equação 27, o qual é de 34 dias.

Adotando uma profundidade de 4 m para a lagoa, encontra-se a área necessária pela Equação 28, a qual é de 1.551,89 m<sup>2</sup>. As medidas adotadas foram projetadas para que a lagoa tenha relação comprimento/largura 1:1 (quadrada). Assim, calculada a área e determinada a relação de dimensões, foi definido a largura de 40 m, o comprimento de 40 m e altura de 4 m.

Para a lagoas anaeróbica, a eficiência de remoção é da ordem de 50%. Assim a eficiência pode ser calculada com a Equação 29, resultando em 453,30 mg/l.

Assim, conforme o decreto nº 8.468/1976 determina que a carga orgânica que pode ser lançada nos corpos de água seja inferior a 60 mg/L, esse valor de DBO é considerado alto para ser lançado no meio ambiente, o que torna necessário que o lixiviado continue o tratamento na lagoa facultativa.

#### 4.2.5.1 Lagoa Facultativa

Posteriormente à lagoa anaeróbia, o lixiviado é conduzido para a lagoa facultativa, para finalizar o tratamento. Primeiramente calcula-se a carga afluyente de DBO (kg de DBO/d) para a lagoa facultativa com a Equação 30, com os valores de vazão encontrados anteriormente para a lagoa anaeróbia de  $180,73 \text{ m}^3/\text{d}$  e o valor da DBO efluente de  $453,30 \text{ mg/l}$ , o resultado da carga afluyente de DBO é de  $81,93 \text{ kg de DBO/d}$ .

A área necessária para a lagoa facultativa é dada pela Equação 31, a qual é necessário encontrar a taxa de aplicação superficial. Considerando que a região do aterro dimensionado é de inverno e insolação moderados o  $L_s$  varia de 120 a 240 kg de DBO/ha.d, assim o valor adotado foi de 240 kg DBO/ha.d. considerando o pior caso. Dessa maneira, com o valor da carga afluyente de  $81,93 \text{ kg de DBO/d}$ , a área da lagoa facultativa é de 0,34 ha ou  $3.413,62 \text{ m}^2$ .

Para o cálculo do volume é utilizado a Equação 32. Já que é importante que tenha a entrada de luz na lagoa facultativa, foi adotado uma altura de 1,2 m, que resulta em um volume de  $4.096,34 \text{ m}^3$ . Desse modo, as dimensões da lagoa facultativa foram adotadas com proporção de 3:1, com 114 m de comprimento e 38 de largura.

Por fim a DBO efluente da lagoa facultativa é dada pela Equação 33. Para isso o tempo de detenção hidráulica utilizando a Equação 27 foi de 23 dias. Conforme Von Sperling (1996) já que se trata de efluente em fase de tratamento o coeficiente cinético adotado foi de  $0,35 \text{ d}^{-1}$ , tem-se o valor da DBO de saída igual a  $50,75 \text{ mg/l}$ .

Assim, de acordo com o decreto nº 8.468/1976 o qual determina que a carga orgânica que pode ser lançada nos corpos de água seja inferior a  $60 \text{ mg/L}$ , os resultados foram satisfatórios e o tratamento do chorume pelas duas lagoas foi efetivo. O qual, posteriormente deve ser lançado ao meio ambiente sem causar nenhum dano.

#### 4.2.6 Sistema de drenagem e tratamento do biogás

Com a finalidade de se obter um maior rendimento na drenagem dos gases deve ser feita uma interligação dos drenos horizontais e verticais do aterro. Assim, o dimensionamento do sistema de drenagem do biogás gerado, se deu de forma empírica.

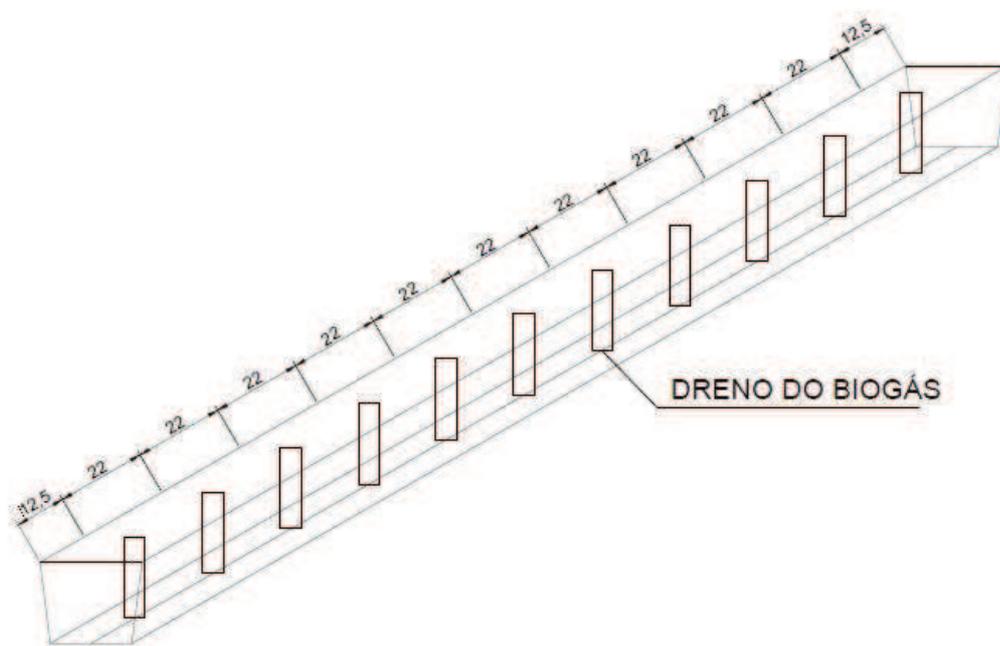
Utilizando a taxa proposta por Rees (1980) de  $0,4 \text{ m}^3$  de biogás para cada kg de resíduos e considerando que durante o horizonte de 20 anos do aterro terá uma estimativa de 356.770 ton. ou  $356.770.000 \text{ kg}$  de resíduos total, conforme a Tabela 11, é possível determinar o volume de gás gerado de  $1.427,08 \text{ m}^3$ .

Neste projeto foi considerado que os drenos verticais possuem diâmetros de 100 cm e feitos de material PVC, sendo envoltos em uma gaiola de tela e preenchidos com rocha brita 4. Depois de drenado, o biogás é encaminhado para o tratamento, o qual é feito com queimador que será instalado na parte superior dos drenos horizontais, para dessa forma minimizar o efeito poluidor causado por ele na atmosfera.

A distribuição em planta dos drenos verticais de gases foi feita considerando-se um raio de influência de cada dreno com 15 m, já que a altura final da célula será de 5 metros. Valores adotados levando em consideração que, quanto maior for a altura, menor é o raio de influência de cada dreno. Assim, utilizando a Equação 34, o espaçamento máximo dos drenos é de 26 m.

Na Figura 18 é mostrado a distribuição dos drenos, com distância entre eles de 22 metros e de 12,50 metros das bordas, totalizando 11 drenos em cada vala.

**Figura 18** - Distribuição dos drenos na vala.



Fonte: Autores, 2022.

#### 4.2.7 Sistema de drenagem de águas pluviais

Posicionadas as trincheiras e observando-se o relevo, o próximo passo é projetar o sistema de drenagem superficial. A proposta é simples, com a execução de canaletas abertas

manualmente na direção preferencial do fluxo das águas de escoamento superficial. A finalidade é impedir a entrada deste volume de água nas trincheiras, aproveitando para retirada rápida dela da área de disposição de resíduos, dessa forma impedindo a geração de poças d'água e solo com muita umidade, para não dificultar o acesso. Esta parcela d'água, por ser apenas de água da chuva, não exige qualquer tipo de tratamento, servindo apenas para recarga dos aquíferos locais. Segue-se a base de cálculo para o dimensionamento do canal para coleta de águas pluviais.

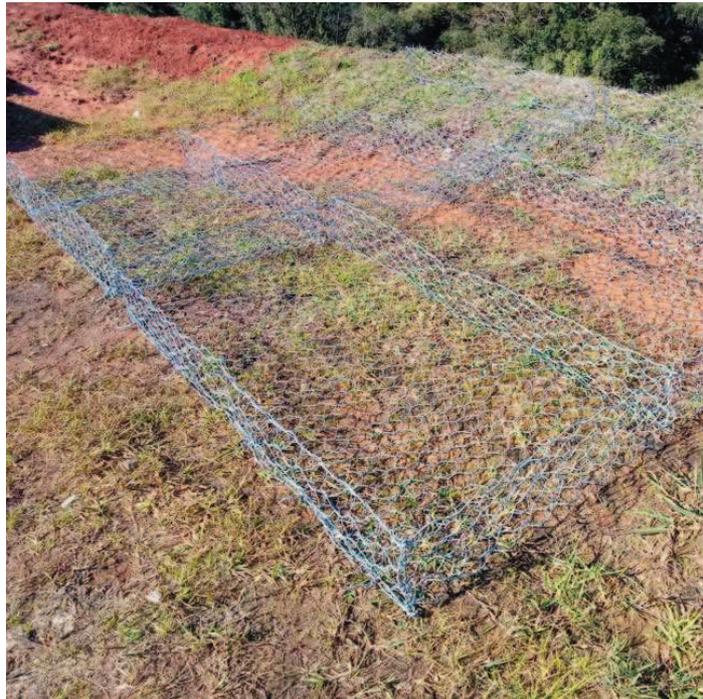
Assim, com a Equação 35 do método racional, obtém-se a vazão de águas pluviais. Para tanto o valor escolhido para o coeficiente de escoamento superficial ou de deflúvio ( $c$ ) foi de 0,60 conforme a Tabela 5 considerando solo argiloso sem cobertura vegetal e com Declividade  $< 7\%$ ; para o valor da intensidade média de precipitação foi considerado 192 mm/hora para a capital de Goiânia, conforme nos fornece a NBR 10844:1989 na Tabela 5, onde há a intensidade de precipitação considerando os períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos para diferentes localidades; assim, considerando toda a área das trincheiras de 0,05 km<sup>2</sup>, tem-se 0,17 m<sup>3</sup>/s de vazão de águas pluviais.

Como o valor dessa vazão é em toda a área, é necessário que essa área seja dividida pelas sub-bacias de contribuição, com posterior localização das canaletas, que devem receber todas as águas dessa sub-bacia, porém, como não se tem a área escolhida para a implementação do projeto, para efeito de cálculo, foi realizado somente o dimensionamento do canal.

Posteriormente ao fechamento de cada trincheira deve ser executado uma valeta em seu meio sobre a camada de terra final, com uma declividade de 2%, além disso, deve haver outras valetas acerca das trincheiras redirecionando as águas das chuvas que incidirem sobre o aterro evitando assim possíveis erosões. Como a massa de RSU é bem deformável, foi escolhido que a estrutura dessas valetas seja do tipo Colchão de Reno.

As dimensões dos colchões Reno são padronizadas. Geralmente o gabião tipo colchão possui entre 0,23 metros e 0,30 metros de espessura. O comprimento, sempre múltiplo de 1 m, varia de 4 m a 6 m, enquanto a largura é sempre de 2 m. Para esse projeto foi considerado um comprimento de 4 m, uma largura de 2 m e espessura de 0,30 metros a favor da segurança, executado como uma caixa metálica em formato de paralelepípedo (Figura 19), dividida a cada metro por paredes internas (diafragmas) que servem para reforçar a estrutura do conjunto. Além disso, é colocado uma camada de manta PEAD embaixo do Colchão Reno para que a água não entre em contato com o solo do aterro.

**Figura 19** - Caixa metálica para Colchão de Reno.



Fonte: Geossintec, 2021.

Para melhor efetividade da vazão é feita a aplicação de argamassa sobre os revestimentos dos colchões Reno, conforme mostrado na Figura 20:

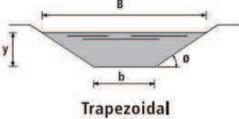
**Figura 20** - Colchão de Reno com recobrimento de argamassa.



Fonte: Macaferri, 2017.

Para isso considerando-se um canal de seção trapezoidal com inclinação das margens de 1:2; conforme as considerações da Tabela 13, com profundidade da água de 0,20 m, tendo 1 m de fundo, com a Equação 36 tem-se  $A_m = 0,269 \text{ m}^2$  e  $P_m = 1,80 \text{ m}$ , logo o  $R_h = 0,15 \text{ m}$ . Adotando os valores para canais de concreto tem-se  $i = 0,05 \text{ m/m}$  e  $n = 0,013$  para a Equação 33 tem-se que a velocidade de escoamento é 4,85 (m/s).

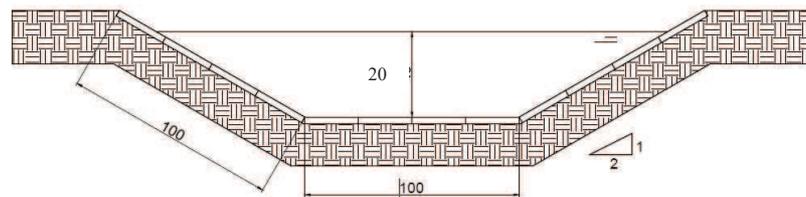
**Tabela 13** - Elementos geométrico-hidráulicos de seção trapezoidal de canal.

Seção	Área (A)	Perímetro molhado (C)	Raio hidráulico (R <sub>H</sub> )
	$y \times (b + y \times \cot \phi)$	$b + \frac{2y}{\sin \phi}$	$\frac{y \times (b + y \times \cot \phi)}{b + \frac{2y}{\sin \phi}}$

Fonte: Macafferri, 2017.

Chegando a esses resultados é possível calcular a vazão com a Equação 37, a qual é de 1,31 m<sup>3</sup>/s. Com isso a Figura 21 mostra o detalhamento do canal trapezoidal que foi dimensionado.

**Figura 21** - Detalhamento do canal trapezoidal dimensionado (medidas em cm).



Fonte: Autores, 2022.

#### 4.3 LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, CLIMATOLÓGICA E USO DE ÁGUA E SOLO

Para os critérios da escolha do local para implementação do aterro sanitário, deve-se considerar que: o impacto ambiental a ser gerado pelo estabelecimento do aterro seja reduzido; a aprovação da população seja potencializada em relação a instalação; esteja em concordância com o zoneamento da região; seja capaz de operar a longo prazo, tendo necessidade de apenas de um mínimo de obras para o começo de seu funcionamento.

Devem ser realizados levantamentos técnicos iniciais relativos à caracterização da área escolhida, além de uma análise detalhada do meio físico local, em conformidade com a NBR 13.896 (ABNT, 1997). Para tanto, observar elementos e critérios como atributos antrópicos conforme legislação e acessibilidade, atributos físicos conforme localização, relevo, recursos hídricos superficiais, condições climatológicas, condições geológicas e vida útil, além de atributos bióticos conforme a fauna e flora do local.

Diante disso, avaliar de acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997) se a topografia do terreno onde pretende-se construir o aterro está entre 1% e 30% de declividade, se existe a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso de água, disponibilidade de fácil acesso para melhor operação e se ele se encontra a uma distância superior de 500 metros de domicílios.

Com isso, de acordo com todos os cálculos realizados é necessária uma área de aproximadamente 25 hectares para comportar todas as instalações do aterro dimensionado.

#### 4.4 MONITORAMENTO

Assim que estiver em operação, o aterro sanitário deve ser constantemente monitorado. A fase do monitoramento começa na implantação, quando os materiais que integram os sistemas devem estar em excelente estado de funcionamento e adequados tecnicamente, e finaliza muitos anos após o encerramento das atividades do aterro.

O aterro sanitário se caracteriza como um tipo de organização com grandes impactos ambientais potenciais. Em vista disso, a disposição de RSU sem o controle necessário pode causar impactos ambientais e sociais graves, sobretudo no que se refere à poluição do solo, do ar e de recursos hídricos.

O projeto e a operação dos sistemas, bem como a adoção de práticas de redução dos possíveis impactos que podem ser gerados, resultam na diminuição desse potencial de risco ambiental. Dessa maneira, é importante que tenha um esquema de monitoramento regular, sistemático e abrangente dos vários sistemas que integram o modelo de disposição de RSU.

Com isso, de acordo com o ReCESA (2008) os propósitos do esquema de monitoramento são: rastreamento da reação geomecânica e do desempenho ambiental do aterro – de maneira a possibilitar a identificação, em tempo apto, de modificações no parâmetro de comportamento esperado, no momento do estabelecimento dos critérios e concepção dos projetos – e a apresentação de disposições preventivas e corretivas, direcionando as atividades de conservação e manutenção. Para tanto ele orienta o monitoramento como se segue.

##### **4.4.1 Monitoramento ambiental**

O monitoramento ambiental tem por finalidade certificar se os sistemas de drenagem e impermeabilização satisfazem com o dever de isolar o espaço ao redor do aterro dos resíduos e efluentes com capacidade poluidora. O meio de dispersão dos poluentes por relevância é a água.

Em vista disso, a atribuição mais importante dos serviços de engenharia do aterro, é eliminar a chance de interação das águas de superfície e subterrâneas com resíduos sólidos, lixiviados e biogás. Assim são descritos os monitoramentos como se segue:

- Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas: tem o objetivo de examinar o rendimento dos sistemas de impermeabilização e drenagem de lixiviados e identificar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea. Dessa forma, é possível preservar os mananciais de águas subterrâneas. É feita a análise em laboratório de amostras de água coletada em poços. As análises são realizadas em poços a montante e jusante do aterro em relação ao fluxo subterrâneo, conforme a NBR 15495-1 (ABNT, 2007).
- Monitoramento da qualidade das águas superficiais. tem o objetivo de analisar alterações nos caminhos da água da região onde se localiza o aterro e aferir a contaminação de águas pluviais. Dessa maneira pode-se preservar os mananciais de águas superficiais. Para isso, é feita uma análise em laboratório de amostras de águas coletadas em locais do sistema de drenagem pluvial. Esses locais do sistema de drenagem pluvial, são tais como canais, tanques ou lagoas de acumulação de água pluviais drenadas.
- Monitoramento da qualidade do ar: tem o objetivo de monitorar a qualidade do ar no espaço ao redor do aterro sanitário. A finalidade é manter a qualidade do ar e impedir doenças, como as respiratórias. Para isso, faz-se o uso de equipamentos de avaliação da qualidade do ar (HI-VOL e o PM 10) – NBR 13412 (ABNT, 1995) e NBR 9547 (ABNT, 1997). Assim, são alocados pontos de amostragem na direção preferencial dos ventos.
- Monitoramento da poluição sonora, ruídos ou pressão sonora: tem por finalidade monitorar o grau de ruídos gerados em um aterro sanitário. Para assim, monitorar os níveis de ruídos, evitando efeitos danosos sobre os seres humanos, como dano da capacidade de trabalho, nervosismo, irritabilidade, estresse, interferência na fala, alterações circulatórias, digestivas e até perda contínua na audição. Para isso, devem ser considerados os abatimentos dos ruídos provocados de acordo com a NBR 12179 (NB 101) (ABNT, 1992), observando que os ruídos não poderão exceder os limites fixados pela Norma NBR 10152 (ABNT, 1987) e conforme Resolução do CONAMA Nº 01 de 08/03/90. Esse monitoramento deve ser realizado em todo o aterro sanitário e imediações.

- Monitoramento dos líquidos lixiviados: tem por finalidade monitorar a qualidade e quantidade de lixiviados produzidos no aterro sanitário. Dessa maneira, é possível avaliar o rendimento do sistema de tratamento e satisfazer os padrões de despejo em corpos de água. Isso é feito através de análises laboratoriais de diversos parâmetros, como DBO, DQO, sólidos, metais pesados, entre outros, conforme CONAMA Nº 357 de 2005. Deve ser realizado na entrada e na saída do sistema de tratamento.
- Monitoramento dos gases: tem por finalidade avaliar a qualidade e quantidade de gases gerados no aterro sanitário. Para acompanhar as fases de degradação e grau de estabilização dos resíduos, bem como seu potencial energético.

#### **4.4.2 Monitoramento geotécnico**

Já o monitoramento geotécnico do aterro sanitário é um relevante recurso que facilita a constante análise das condições de segurança dele, além de permitir a sucessiva estimativa da vida útil do aterro sanitário, já que os RSU são materiais que possuem alta deformidade.

- Monitoramento dos recalques superficiais: tem a finalidade de avaliar os recalques verticais e horizontais do aterro sanitário. Com isso, pode-se possibilitar uma análise contínua da vida útil do aterro e oferecer elementos para a verificação da estabilidade dos taludes do aterro, impedindo acidentes, como desmoronamento. É realizado através do registro topográfico das localizações de medidores de recalque e limites superficiais, nos espaços dos taludes, bermas e topo do aterro.
- Monitoramento das pressões nos líquidos e gases no interior das células de resíduos: tem por finalidade avaliar a altura de líquidos e as pressões nos gases. Para fornecer itens para a avaliação da estabilidade dos taludes do aterro, evitando acidentes como desmoronamentos. É feito através de piezômetros no meio do maciço de aterro.
- Inspeções de campo: tem por finalidade analisar o funcionamento das partes do aterro sanitário. Sendo possível garantir a atividade adequada dos elementos de projeto implantados. Através de análises com o intuito de detectar trincas, focos erosivos, vazamento de lixiviados, condições do sistema de drenagem superficial, entre outros, em todo o aterro e redondezas.

- Controle tecnológico dos materiais geotécnicos utilizados: a finalidade desse controle é de analisar a qualidade dos materiais utilizados nas várias instalações do aterro. Com isso, é possível assegurar que as partes do projeto tenham sido devidamente executados, dentro das normas previstas. É feito através de comandos tecnológicos dos materiais e de ensaios de laboratório e de campo, em todo o aterro.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi elaborado o dimensionamento do aterro sanitário para o município de Jaraguá-GO. Por meio da realização de um estudo sobre a forma de disposição e gestão atual dos resíduos sólidos, foi constatado que o município estudado utiliza o método lixão para disposição final dos resíduos. Visando dimensionar um sistema de tratamento adequado, foi determinado a projeção da população de projeto para um horizonte de 20 anos igual a 73.497 habitantes, onde, considerando a produção de lixo de 0,71 kg.hab/dia, gera uma quantidade de resíduos total de 496.603,26 m<sup>3</sup>.

Com o estabelecimento da quantidade total de resíduos que necessita de tratamento, realizou-se o dimensionamento dos elementos de projeto do aterro, sendo eles, sistemas de impermeabilização, drenagem e tratamentos. O sistema de impermeabilização é composto por mantas de revestimentos PEAD. No projeto do sistema de lixiviado, foi utilizado o método suíço de cálculo de lixiviado. Para a drenagem do gás o dimensionamento foi feito de forma empírica. No sistema de drenagem de águas pluviais, foram executadas as canaletas abertas manualmente na direção preferencial do fluxo das águas de escoamento superficial.

A partir das características e dimensões técnicas dos sistemas foi possível determinar que o aterro sanitário necessita de uma área aproximada de implementação de 25 hectares para comportar todas as instalações do aterro dimensionado. Além disso, foi estabelecido os requisitos do mecanismo de monitoramento do aterro, o qual precisa iniciar com a sua instalação e deve ser mantido após o fechamento do aterro.

Neste sentido, conclui-se que é evidente a necessidade da implantação do aterro sanitário de imediato na cidade de Jaraguá – GO visto que, além de realizar a disposição incorreta, o município não atende as diretrizes estabelecidas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Por fim, é de suma importância a adequada destinação dos resíduos sólidos urbanos da cidade, pois, além das diversas vantagens relacionadas a questões ambientais e cumprimento da legislação, sua implementação implicará diretamente na qualidade de vida da população local.

Como sugestão para trabalhos futuros, buscar junto a prefeitura o local efetivo da implantação do aterro, sendo possível o estudo criterioso do solo, como análise topográfica, geológica, geotécnica, hidrológica e climática. Assim é possível desenvolver o projeto de aterro sanitário para a região estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. C. P., RODRIGUES, C. P. B., BARBOSA, V. S., MOREIRA, J. C. P. **Disposição a Pagar Pelo Aterro Sanitário Da Microrregião Do Cariri, Ceará, Brasil.** Rev. Econ. NE, Fortaleza, v. 49, n. 3, p. 23-37, jul./set., 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.849: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.** Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, R. P.; IBRAHIN, F.I. D. **Resíduos Sólidos - Impactos, Manejo e Gestão Ambiental.** Editora Saraiva, 2014. 9788536521749. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521749/>>. Acesso em: 26 set. 2021.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos: EESC-USP. Projeto REENGE, 1999.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010.** Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Interior. **Portaria 53, de 01 de março de 1979.** Brasília, 1979.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 01, de 08/03/1990.** Dispõe sobre níveis excessivos de ruído incluídos os sujeitos ao controle da poluição de meio ambiente.

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. Brasília, 2 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 21 set. 2021.

BUGLIA, F. Entenda a diferença entre aterro sanitário e lixão. **Portal InfoEnem, 2015.** Disponível em: <<https://infoenem.com.br/entenda-a-diferenca-entre-aterro-sanitario-e-lixao/>>. Acesso em: 04 out. 2021.

Carrocerias de madeira. **Bela Vista Carrocerias,2020.** Disponível em<<https://www.belavistacarrocerias.com.br/fabricacao-reforma-carroceria-madeira-nova-caminhao.html>>. Acesso em: 17 out. 2021.

CETESB. **Operação e Manutenção de Lagoas de Estabilização**. São Paulo, 1990.

Tratamento de chorume. Cetrel compromisso com o futuro, 2019. Disponível em <<https://www.cetrel.com.br/area-de-atuacao/tratamento-de-chorume-de-aterro/>>. Acesso em 19 nov. 2021.

Contran divulga novas regras para sistema de segurança de caminhões basculantes. Portal do governo Mato Grosso, 2021. Disponível em <http://www.ms.gov.br/contran-divulga-novas-regras-para-sistema-de-seguranca-de-caminhoes-basculantes/>. Acesso em: 17 out. 2021.

Caminho do lixo. Recicla Sampa, 2021. Disponível em: <<https://www.reciclasampa.com.br/>>. Acesso em 28 set. 2021.

DO ESTADO, Companhia de Desenvolvimento Urbano et al. **Manual de operação de aterros sanitários**. 2010.

DOURADO, J.; JÚNIOR, R. T.; SAIANI, C. C. S. **Resíduos sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da lei federal no 12.305 (lei de resíduos sólidos)**. Barueri, SP: Editora Manole, 2014. 9788520449240. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520449240/>>. Acesso em: 20 out. 2021.

FÉLIX, R. O. **Avaliação da qualidade físico-química do solo de disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Jaraguá-Goiás**. Anápolis, 2020. 69 p.

GOIÁS. **Lei nº 14.248, de 29 de julho de 2002**. Casa Civil do Estado de Goiás. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Goiânia, 2002. Disponível em: <[https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa\\_legislacao/81810/lei-14248](https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/81810/lei-14248)>. Acesso em: 18 out. 2021.

GOIÁS. **Resolução nº 005, de 26 de fevereiro de 2014**. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMAM. Dispõe sobre os procedimentos de Licenciamento Ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade Aterro Sanitário, nos municípios do Estado de Goiás. Goiânia, 2014. Disponível em: <[https://www.meioambiente.go.gov.br/files/Gelist\\_Documentos/Licenciamento\\_de\\_aterros\\_sanitarios.pdf](https://www.meioambiente.go.gov.br/files/Gelist_Documentos/Licenciamento_de_aterros_sanitarios.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Goiás – Jaraguá**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, PNSB -2008**. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

Instituto brasileiro de Geografia e Estatísticas. **PNSB- Pesquisa do Saneamento Básico 2000**. <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 de agosto 2021.

JABUR, G. **Aterro Sanitário de Brasília recebe nova manta de impermeabilização**. Agência Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/agenciabrasilia/38090849466/in/album-72157687954535391/>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J. V. M. **Política Nacional. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Barueri, SP: Editora Manole, 2012. 9788520444801. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520444801/>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Site oficial do Ministério do Meio Ambiente. **Planos Estaduais de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/item/10611-planos-estaduais.html>>. Acesso em: 19 out. 2021.

ROCCA, A. C. C. **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo: Cetesb; 1993.

SANTOS, A. S. P. **Engenharia e Meio Ambiente - Aspectos Conceituais e Práticos**. Rio de Janeiro: LTC, Grupo GEN, 2021. 9788521637523. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637523/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SOUZA, M. J. B. NUNES, L. A. S. **Aterros de pequeno porte: uma alternativa para viabilização de disposição de resíduos urbanos em Abadia de Goiás**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, Goiânia, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.anhanguera.edu.br:8080/handle/123456789/93?mode=full>>. Acesso em: 24 out. 2021.

NOBREGA, C. C. et al. **Avaliação do ciclo de vida da coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa, município de João Pessoa (PB), Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2019, v. 24, n. 05, pp. 875-886. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019197802>>. Epub 25 Nov 2019. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019197802>. Acesso em: 30 ago. 2021.

PERS-GO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás**. Goiânia, 2017.

PEROTTI, N. **Estudo da atenuação da concentração de poluentes em lagoas de estabilização tratando lixiviado de aterro sanitário**. 2020.

PHILIPPI JR., A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável**. Barueri, SP: Editora Manole, 2005. 9788520442128. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520442128/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. D. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Editora Manole, 2014. 9788520443200. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443200/>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

PINHEIRO, I. S.; FERREIRA, J. A. **Economicidade dos Serviços de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro, Escola de Contas e Gestão do TCE-RJ, 2017.

Poliguindaste Grimaldi. **JBS Guindastes, 2021.** Disponível em: <<https://www.jbsguindastes.com.br/produto/poliguindaste/poliguindaste-grimaldi>>. Acesso em: 17 out. 2021.

PNRS-BR. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2020.

QASIM, S. R. **Estações de tratamento de águas residuais: planejamento, projeto e operação.** 2ª ed. Lancaster, Pa: Technomic Pub. Co., 1999. Disponível em: <<https://lib.ugent.be/catalog/rug01:001985985>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Manual 2007.** 117 p. Disponível em: <[https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/recesa/projetooperacaoemonitoramentodeaterrossanitarios-nivel2.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/projetooperacaoemonitoramentodeaterrossanitarios-nivel2.pdf)>. Acesso em: 15 maio. 2022.

SANTAELLA, S. T. et al. **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira.** Fortaleza: UFC / LABOMAR / NAVE, 2014. Disponível em: <<https://www.repositoriobib.ufc.br/000011/00001121.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2021.

SANTOS, D. L. **Análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – UniEvangélica, Anápolis, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/8698/1/Diomar%20Lopes.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SANTOS, A. P.; SILVA, E. A. **Análise e dimensionamento para implantação de um aterro sanitário para as cidades de Jaraguá, Jesúpolis e São Francisco de Goiás.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – UniEvangélica, Anápolis, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/813/1/20182\\_TCC\\_Adrielle%20e%20Eliane.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/813/1/20182_TCC_Adrielle%20e%20Eliane.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. de. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, p. 2115-2122, 2009.

Município recebe caminhão baú para a agricultura familiar. **Prefeitura Municipal de Cristal, 2021.** Disponível em <<https://www.cristal.rs.gov.br/noticias/municipio-recebe-caminhao-bau-para-a-agricultura-familiar>>. Acesso em: 17 out. 2021.

MORAIS, M. S. **Projeto de aterro sanitário com sistema de drenagem de chorume para cidades com descarte diário de até 20 toneladas de resíduos sólidos.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N.T. R.; BARROS, K. R. **Guia para elaboração de projetos de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos.** Série de publicações temáticas do CREA-PR, v. 3, n. 4, 2009.

REES, J. F. **The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter.** J. Chem. Technol. Biotech. v. 30, p. 161-175, 1980.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** 2a Ed. Belo Horizonte: UFMG, 196 p., 2002.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. **AB de Castilho Júnior (Coordenador), resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2003.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – TABELA PARA CÁLCULO DA LAGOA ANAERÓBICA

<b>Carga afluyente de DBO (fase ácida)</b>	
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	24,10
S <sub>0</sub> = DBO entrada (mg/L)	25400,00
L = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	612,08
<b>Carga afluyente de DBO (fase metanogênica)</b>	
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	156,63
S <sub>0</sub> = DBO entrada (mg/L)	6000,00
L = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	939,81
<b>DBO entrada (mg/L)</b>	
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	180,73
L = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	1551,89
S <sub>0</sub> = DBO entrada (mg/L) efluente	8586,67
<b>Volume</b>	
L = carga de DBO aplicada (kg DBO/d)	1551,89
L <sub>v</sub> = taxa de aplicação volumétrica (kg. DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d)	0,25
V = volume da lagoa anaeróbica (m <sup>3</sup> )	6207,55
<b>Tempo de detenção hidráulica</b>	
V = volume da lagoa anaeróbica (m <sup>3</sup> )	6207,55
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	180,73
t = tempo de detenção hidráulica (em dia),	34
<b>Área</b>	
V = volume da lagoa anaeróbica (m <sup>3</sup> )	6207,55
h = altura adotada (m)	4,00
A = Área necessária (m <sup>2</sup> )	1551,89
<b>Eficiência na remoção de DBO</b>	
S <sub>0</sub> = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	1551,89
S = carga efluente de DBO (mg/l)	8586,67
E = eficiência (mg/l)	453,30

Fonte: Autores, 2022.

## APÊNDICE B – TABELA PARA CÁLCULO DA LAGOA FACULTATIVA

Carga afluyente de DBO	
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	180,73
S <sub>o</sub> = DBO entrada (mg/L)	453,30
L = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	81,93
Área	
L = carga de DBO aplicada (kg DBO/d)	81,93
LS = taxa de aplicação superficial (kg DBO/ha.d)	240,00
A = área da lagoa facultativa (ha)	0,34
Volume	
A = área da lagoa facultativa (m <sup>2</sup> )	3413,62
h = altura adotada (m)	1,20
V = volume da lagoa anaeróbica (m <sup>3</sup> )	4096,34
Tempo de detenção hidráulica	
V = volume da lagoa facultativa (m <sup>3</sup> )	4096,34
Q = vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	180,73
t = tempo de detenção hidráulica (em dia),	23
DBO efluente	
S <sub>o</sub> = carga afluyente de DBO (kg DBO/d)	453,30
k = coeficiente cinético (0,1 a 0,35 d <sup>-1</sup> )	0,35
t = tempo de detenção hidráulica (d)	22,67
S = DBO de saída (mg/L)	50,75

Fonte: Autores, 2022.

## APÊNDICE C – TABELA RESUMO DAS FASES DAS LAGOAS

Fase da lagoa anaeróbica	Vazão média afluyente (m <sup>3</sup> /d)	DBO entrada (mg/L)	Carga afluyente de DBO (kg DBO/d)
fase ácida	24,10	25400,00	612,08
fase metanogênica	156,63	6000,00	939,81
<b>Σ das fases</b>			<b>1551,89</b>

Fonte: Autores, 2022.

## APÊNDICE D – TABELA PARA O CÁLCULO DO CANAL PARA COLETA DE ÁGUAS PLUVIAIS

Vazão de pico	
<b>C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional)</b>	0,60
<b>Im = intensidade média de precipitação (mm/hora)</b>	192,00
<b>A = área total da bacia de drenagem (km<sup>2</sup>)</b>	0,005
<b>Q = vazão de pico em m<sup>3</sup>/s</b>	0,17
Raio hidráulico	
<b>y = Altura do canal (m)</b>	0,20
<b>B = Largura maior do canal (m)</b>	2,00
<b>b = Largura menor do canal (m)</b>	1,00
<b>φ</b>	30,00
<b>Am = área molhada (m<sup>2</sup>)</b>	0,677
<b>Pm = perímetro molhado (m)</b>	2,60
<b>Rh = raio hidráulico (m)</b>	0,26
Raio hidráulico	
<b>n = coeficiente de rugosidade das paredes</b>	0,013
<b>i = declividade do canal (m/m)</b>	0,05
<b>V = velocidade de escoamento (m/s)</b>	4,85
Vazão	
<b>A = área da seção transversal (m<sup>2</sup>)</b>	0,269
<b>V = velocidade de escoamento (m/s)</b>	4,85
<b>Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	1,31

Fonte: Autores, 2022.