



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

JULIANNA FERREIRA DOS SANTOS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA
O MUNICÍPIO DE SERRA REDONDA - PB**

**CAMPINA GRANDE
2021**

JULIANNA FERREIRA DOS SANTOS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA
O MUNICÍPIO DE SERRA REDONDA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Resíduos sólidos

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ruth Silveira do Nascimento.

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586d Silva, Julianna Ferreira dos Santos.
Dimensionamento de um aterro sanitário de pequeno porte para o município de Serra Redonda - PB [manuscrito] / Julianna Ferreira dos Santos Silva. - 2021.
67 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Resíduos sólidos. 2. Aterro sanitário. 3. Lixão. I. Título

21. ed. CDD 628


JULIANNA FERREIRA DOS SANTOS SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA
O MUNICÍPIO DE SERRA REDONDA - PB**

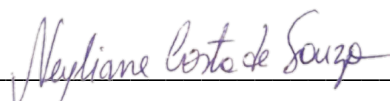
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 25/05/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Ruth Silveira do Nascimento (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Prof^a. Dr^a. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Prof^a. Dr^a. Ligia Maria Ribeiro Lima
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me deu força, paciência e coragem nos momentos de dificuldade.

Agradeço a minha vó Nevinha que cuida de mim desde que eu era uma criança, e ao meu pai Severino que juntos sempre fizeram de tudo para que hoje eu pudesse estar aqui.

Agradeço à minha orientadora prof. Ruth por me orientar neste trabalho, por seus ensinamentos e paciência durante todo o curso.

Agradeço a todos os professores do departamento de Eng. Sanitária e Ambiental da UEPB por me proporcionar conhecimentos e experiências que levarei sempre comigo.

Agradeço ao meu namorado Jefferson por seu cuidado, incentivo e paciência ao longo de toda a graduação e especialmente durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos de curso Adolf, Amanda, Emília, Luíza e Petra por sua ajuda e amizade durante os momentos de alegria, mas também nos momentos de tristeza, que possamos continuar sempre assim apesar da distância.

RESUMO

A destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, é um problema antigo, com a revolução industrial e o crescimento do setor produtivo introduzindo grandes quantidades de novos produtos no mercado, a geração de resíduos cresceu de forma nunca antes vista, e continua sendo uma problemática que afeta toda a sociedade até os dias atuais. Em cidades de pequeno porte, esse problema é ainda maior, devido à falta de recursos, e interesse do poder público em sanar a situação, sendo assim, grande parte dos pequenos municípios brasileiros continuam a dispor os seus resíduos sólidos em lixões ou aterros controlados ocasionando problemas ambientais. Objetivando a redução da produção de resíduos sólidos e a extinção dos lixões, assim como a recuperação dessas áreas, em 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos, criando prazos e metas a serem cumpridos por estados e municípios da União. Desse modo, o presente estudo foi realizado com objetivo de dimensionar um aterro sanitário de pequeno porte para o município de Serra Redonda – PB, que atualmente possui uma população de 7.050 habitantes e geração de resíduos sólidos estimada em 2,5 t/dia, embora haja uma tendência de diminuição da população para 7.017 hab a geração de resíduos pode chegar a 3,1 t/dia.

Palavras-Chave: Resíduo sólido. Aterro sanitário. Lixão. Dimensionamento.

ABSTRACT

The environmentally appropriate disposal of solid waste is an old problem, with the industrial revolution and the growth of the productive sector introducing large amounts of new products to the market. Waste generation has grown in a way never seen before, and it continues to be a problem that affects the whole of society until today. In small cities, this problem is even greater due to the lack of resources and interest of the public authorities in solve the situation, so a large part of small Brazilian counties continue to dispose of their solid waste in dumping ground or controlled landfill, causing environmental problems. Pursue to reduce the production of solid waste and the extinction of dumps as well as the recovery of these areas in 2010 with the enactment of Law 12.305/2010, a National Solid Waste Policy was created creating deadlines and targets to be met by states and counties in the Union. Thus, the present study was carried out with the objective of dimensioning a small sanitary landfill for the county of Serra Redonda - PB, which currently has a population of 7,050 habitants and solid waste generation estimated at 2.5 t/day, although there is a tendency for the population to decrease to 7,017 inhabitants and the generation of waste can reach 3.1 t/day.

Keywords: Solid waste. Landfill. Dumping ground. Sizing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destinação final dos RSU para cada município brasileiro.....	21
Figura 2 - Destinação inadequada de resíduo sólido em lixão e catadores	22
Figura 3 - Esquema de um aterro controlado	24
Figura 4 - Esquema de um aterro sanitário	26
Figura 5 - Mapa de localização de Serra Redonda - PB	32
Figura 6 - Dimensões da seção transversal	52
Figura 7 - Dimensões da seção longitudinal.....	53
Figura 8 - Dimensões de escavação da trincheira.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Geração total de resíduos sólidos no Brasil em toneladas	19
Gráfico 2 - Geração total de resíduos sólidos na Paraíba	19
Gráfico 3 - Disposição final dos RSU no ano de 2019 no Brasil.....	23
Gráfico 4 - Variação do quantitativo populacional da cidade de Serra Redonda - PB	33
Gráfico 5 - Projeção populacional pelo método aritmético para o município de Serra Redonda - PB.....	34
Gráfico 6 - Projeção populacional pelo método geométrico para o município de Serra Redonda - PB.....	35
Gráfico 7 - Projeção populacional pelo método da taxa decrescente de crescimento para Serra Redonda - PB	36
Gráfico 8 - Comparação entre os métodos de projeção populacional para Serra Redonda - PB.....	37
Gráfico 9 - Composição gravimétrica nacional	41
Gráfico 10 - Composição gravimétrica dos resíduos de Serra Redonda.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa da geração per capita de resíduos sólidos para Serra Redonda	38
Tabela 2 - Estimativa de geração diária de resíduos sólidos para Serra Redonda...	39
Tabela 3 - Estimativa da geração anual de resíduos sólidos para Serra Redonda...	39
Tabela 4 - Dados iniciais de projeto de aterro sanitário da cidade de Serra Redonda	50
Tabela 5 - Evolução dos volumes de ocupação do aterro	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos segundo a NBR 10.004/2004.....	16
Quadro 2 - Classificação dos resíduos quanto a sua origem	17
Quadro 3 - Classificação dos resíduos quanto à biodegradabilidade.....	17
Quadro 4 - Critérios de seleção de áreas.....	27
Quadro 5 - Condições para adoção do sistema de drenagem de gases.....	31
Quadro 6 - Parâmetros da Curva IDF.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3Rs	Reduzir, Reutilizar e Reciclar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
IDF	Intensidade x Duração x Frequência
ISLU	Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana
NBR	Norma Brasileira
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Resíduos sólidos	15
3.1.1	Classificação dos resíduos	15
3.2	Geração de resíduos sólidos no Brasil	18
3.3	Política Nacional de Resíduos Sólidos	20
3.4	Disposição final dos resíduos sólidos urbanos	20
3.4.1	Lixão	22
3.4.2	Impactos causados pelos lixões	23
3.4.3	Aterro controlado	24
3.4.4	Aterro sanitário	25
3.5	Etapas de projeto	26
3.6	Projeto	29
3.6.1	Elementos do projeto.....	29
4	METODOLOGIA	32
4.1	Caracterização da área de estudo	32
4.1.1	Análise dos resíduos coletados	37
4.2	Dimensionamento do aterro de pequeno porte	42
4.2.1	Dimensões das trincheiras	42
4.2.2	Impermeabilização.....	44
4.2.3	Sistema de drenagem superficial.....	46
4.2.4	Sistema de drenagem de lixiviados	47
4.2.5	Sistema de drenagem de gases	49

4.2.6	Isolamento	49
4.2.7	Cobertura.....	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Vida útil do aterro	50
5.2	Dimensões da trincheira	50
5.3	Dimensionamento da impermeabilização	54
5.3.1	Dimensionamento da manta.....	54
5.4	Dimensionamento do sistema de drenagem superficial.....	55
5.4.1	Dimensionamento dos canais de drenagem.....	57
5.5	Dimensionamento do sistema de drenagem de lixiviados	57
5.6	Dimensionamento do sistema de drenagem de gases	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIA	60
	APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA TRINCHEIRA	64
	APÊNDICE B – CORTE A – A (SEÇÃO TRANSVERSAL).....	65
	APÊNDICE C – DETALHE CORTE A – A.....	66
	ANEXO A – VALORES DE C	67

1 INTRODUÇÃO

Um grande problema ambiental enfrentado atualmente é a destinação dos resíduos sólidos de forma inadequada, essa problemática é potencializada pelo crescimento populacional e pelo atual estilo de vida, modo de produção e consumo que provoca um aumento na geração de resíduos sólidos.

A má gestão dos resíduos, além dos problemas que causa no âmbito do meio ambiente como a contaminação do solo e do lençol freático pelo lixiviado, e a poluição do ar através dos gases gerados durante o processo de decomposição dos rejeitos, também ocasionam problemas de saúde pública e de drenagem urbana que podem ser percebidos por meio de doenças transmitidas por vetores, já que, os lixões são criadouros de animais como baratas, mosquitos e ratos que transmitem vários tipos de enfermidades, e pelos alagamentos devido ao descarte irregular de resíduos que acabam em bueiros, prejudicando dessa forma a macrodrenagem urbana.

No ano de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que possuía como uma de suas metas, o fim da disposição dos resíduos sólidos em lixões, no entanto, a meta não foi cumprida e com o novo marco do saneamento o prazo para o fim dos lixões foi adiado.

Sendo assim, a maior parte dos resíduos continuam sendo depositados em lixões a céu aberto ou em aterros controlados, não sendo estas formas de disposição final ambientalmente adequadas, e segundo o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana – ISLU (2019), 49,9% dos municípios brasileiros ainda utilizam os lixões como forma de disposição final de seus rejeitos.

Uma das medidas consideradas adequadas do ponto de vista ambiental para a disposição final dos resíduos sólidos é a utilização de aterros sanitários, entretanto, devido ao seu alto custo de implantação pequenos municípios, por exemplo, não possuem recursos suficientes para construir e manter em operação um aterro, agravando assim a atual situação da gestão dos resíduos.

É a partir dessa problemática que o presente trabalho foi realizado e buscou mostrar o processo de desenvolvimento de um projeto de aterro de pequeno porte, utilizando o método de trincheiras para o município de Serra Redonda – PB.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver o dimensionamento de um aterro sanitário de pequeno porte para o município de Serra Redonda – PB.

2.2 Objetivos específicos

- Propor modelo de gestão de resíduos sólidos adequada para municípios de pequeno porte.
- Explicar as etapas para o dimensionamento de um aterro sanitário em trincheiras.
- Demonstrar em planta o dimensionamento das trincheiras.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos sólidos

De acordo com Gomes (2020), o avanço tecnológico ocorrido após a segunda revolução industrial, proporcionou não só o crescimento populacional como também uma mudança no padrão de consumo da população. Foi nesse período que se verificou uma elevação na produção e variedade de produtos, seguindo um modelo baseado em produzir, utilizar e descartar.

Libânio (2002) define os resíduos sólidos como sendo constituídos basicamente de subprodutos ou rejeitos do setor primário, industrial e de serviço, de materiais e utilitários sem mais valia ou com algum grau de periculosidade, além dos próprios poluentes retidos em estações e equipamentos de controle da poluição.

De acordo com a norma brasileira NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos podem ser definidos da seguinte maneira:

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 técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10.004/ 2004, p.1).

Enquanto a Lei Federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define os resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

3.1.1 Classificação dos resíduos

Conforme a NBR 10.004/2004 para classificar os resíduos é necessário saber sua origem, quais as suas características e de que são constituídos, e fazer uma

comparação de seus constituintes com uma relação de resíduos e substâncias cujos impactos ao meio ambiente e à saúde já são conhecidos.

Os resíduos sólidos podem ser classificados de diversas formas. Por exemplo:

- natureza física: seco e molhado;
- composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica;
- potenciais riscos ao meio ambiente

No Quadro 1 é possível verificar a classificação dos resíduos sólidos conforme sua periculosidade de acordo com a NBR 10.004/2004.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos segundo a NBR 10.004/2004

Classificação	Característica
Classe I – Perigosos	Apresentam risco à saúde ou ao meio ambiente e podem apresentar uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe II A – Não inertes	Podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade.
Classe II B – Inertes	Não possui nenhum constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas.

Fonte: Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado (2018, p. 29).

Os resíduos podem ser classificados ainda quanto a sua origem conforme o Quadro 2 que traz a classificação de acordo com Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado (2018) e quanto ao seu grau de biodegradabilidade como pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 2 - Classificação dos resíduos quanto a sua origem

Classificação	Origem	Características	Responsável
Domiciliar	Vida diária das residências	Restos de alimentos, produtos deteriorados, embalagens em geral, entre outros itens.	Prefeitura
Comercial	Originado em diversos estabelecimentos comerciais e serviços	Papel, plásticos, embalagens, etc.	Prefeitura
Público	Limpeza pública urbana e de áreas de feiras livres	Restos de podas de árvores, restos de vegetais, etc.	Prefeitura
Resíduos de serviços de saúde (RSS)	Hospitais, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc.	Agulhas, seringas, gases, bandagens, etc.	Gerador
Serviços de transportes	Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários	Materiais de higiene, asseio pessoal, restos de alimentos, etc.	Gerador
Industrial	Diversos ramos da indústria	O lixo industrial é bem variado, pode conter cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, madeiras, fibras, borrachas, metais, etc.	Gerador
Agrícola	Atividades agrícolas e pecuária	Embalagens de fertilizantes e defensivos agrícolas, rações, restos de colheita, etc.	Gerador
Entulho	Construção civil	Materiais de demolições, restos de obras, solos de escavações, etc.	Gerador

Fonte: Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado (2018, com adaptações)

Quadro 3 - Classificação dos resíduos quanto à biodegradabilidade

Classificação	Tipo de resíduo sólido
Facilmente degradável - F.D.	Matéria orgânica
Moderadamente degradável - M.D.	Papel, papelão e outros

Difícilmente degradável - D.G.	Couro, borracha e madeira
Não-degradável - N.D.	Vidro, metal, plástico, pedra e outros

Fonte: Naruo (2003).

Já os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser definidos segundo a NBR 8.419/92 como:

Resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos, já definidos anteriormente (NBR 8.419/1992, p.2).

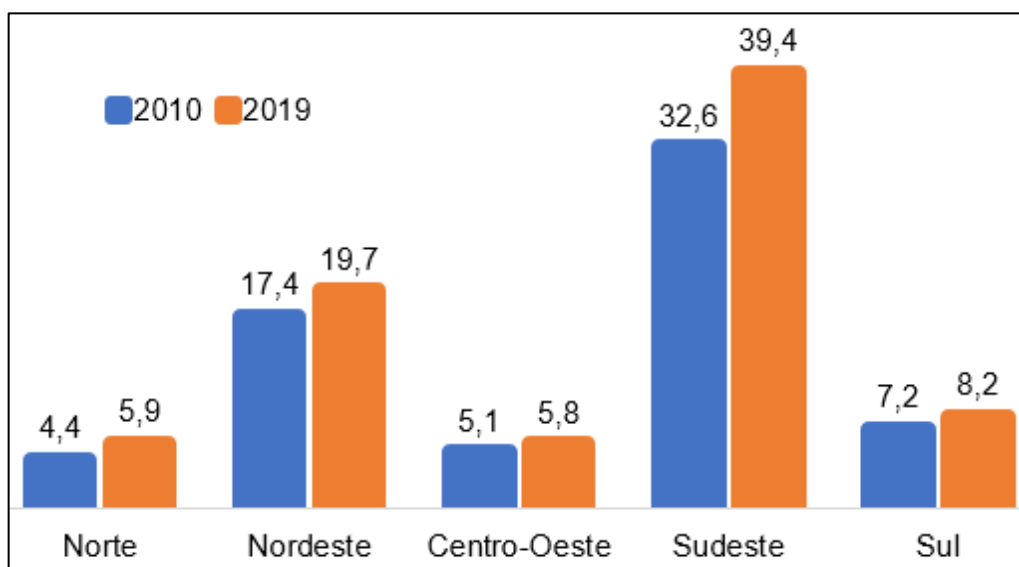
Comumente, os RSU são provenientes de atividades domésticas, resíduos gerados pelos comércios e indústria, sob a condição de que suas propriedades e volume se aproximem dos resíduos domiciliares, e os resultantes dos serviços de limpeza urbana, como varrição e limpeza de logradouros e vias públicas, que são recolhidos pelo sistema de coleta, seja seletiva ou convencional, do município. Os resíduos que não se encaixam como resíduos urbanos, ficam a cargo do gerador atender as legislações em vigor (PERS, 2014).

3.2 Geração de resíduos sólidos no Brasil

Conforme o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos do IPEA (2012), estimar a geração per capita de RSU no Brasil é uma atividade complexa, pois devido a carência do sistema de coleta pública e a disposição do resíduo de forma inadequada não é possível que os mesmos sejam recolhidos e contabilizados em sua totalidade.

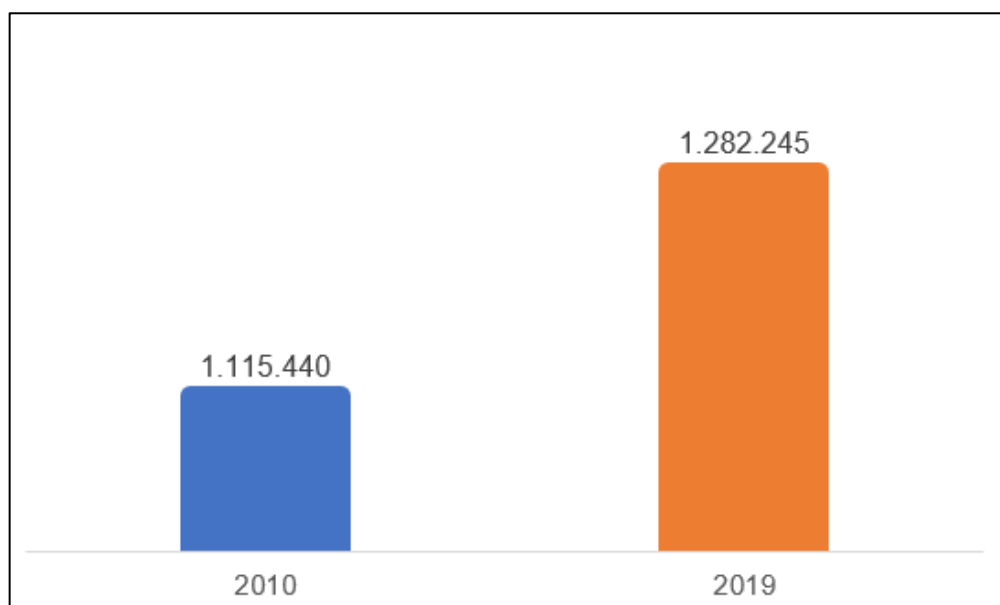
O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), apontou um aumento na estimativa da quantidade de RSU gerados no Brasil entre os anos de 2010 e 2019, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Em 2019 a geração per capita foi de 379 kg/ano, o que representa um aumento de 31 kg/ano quando comparado com o ano de 2010 em que a estimativa era de 348 kg/ano.

Os valores de geração total e per capita de RSU variam de acordo com a região do país, segundo dados da ABRELPE (2020), as regiões em que mais houve aumento na geração total de RSU foram as regiões Nordeste e Sudeste, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Geração total de resíduos sólidos no Brasil em toneladas

Fonte: ABRELPE (2020, com adaptações).

Para o Estado da Paraíba, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), estima que a geração de RSU no ano de 2019 foi de 1.282.245 t/ano, o que representa um crescimento de cerca de 15% em comparação com o ano de 2010 em que a geração de RSU foi de 1.115.440 t/ano, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Geração total de resíduos sólidos na Paraíba

Fonte: ABRELPE (2020, com adaptações).

3.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Para Demajorovic (2013) a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi um marco nas políticas ambientais na medida em que define a responsabilidade compartilhada do gerenciamento dos resíduos.

Ela define planos, programas, objetivos e prazos que obrigam os principais agentes do mercado — governo, indústria, comércio, importadores, serviços e consumidores — a prover uma destinação adequada para os resíduos sólidos gerados na manufatura e pós-consumo de diversos bens, entre eles os produtos eletroeletrônicos. Institui também o mecanismo de logística reversa visando reciclar, reinserir e reaproveitar os resíduos na cadeia produtiva, provendo a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos finais desses processos, assim como promover a inserção social de grupos de catadores (DEMAJOROVIC, 2013, p.68)

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012), a PNRS possui forte vínculo com outros planos em vigor, por exemplo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), além de conciliar o crescimento econômico e a preservação do meio ambiente.

O Art. 7º da Lei 12.305/2010 discorre sobre os objetivos da PNRS, os principais são a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, o estímulo à produção e consumo sustentáveis e a adoção do princípio dos três erres (3Rs), reduzir, reutilizar e reciclar.

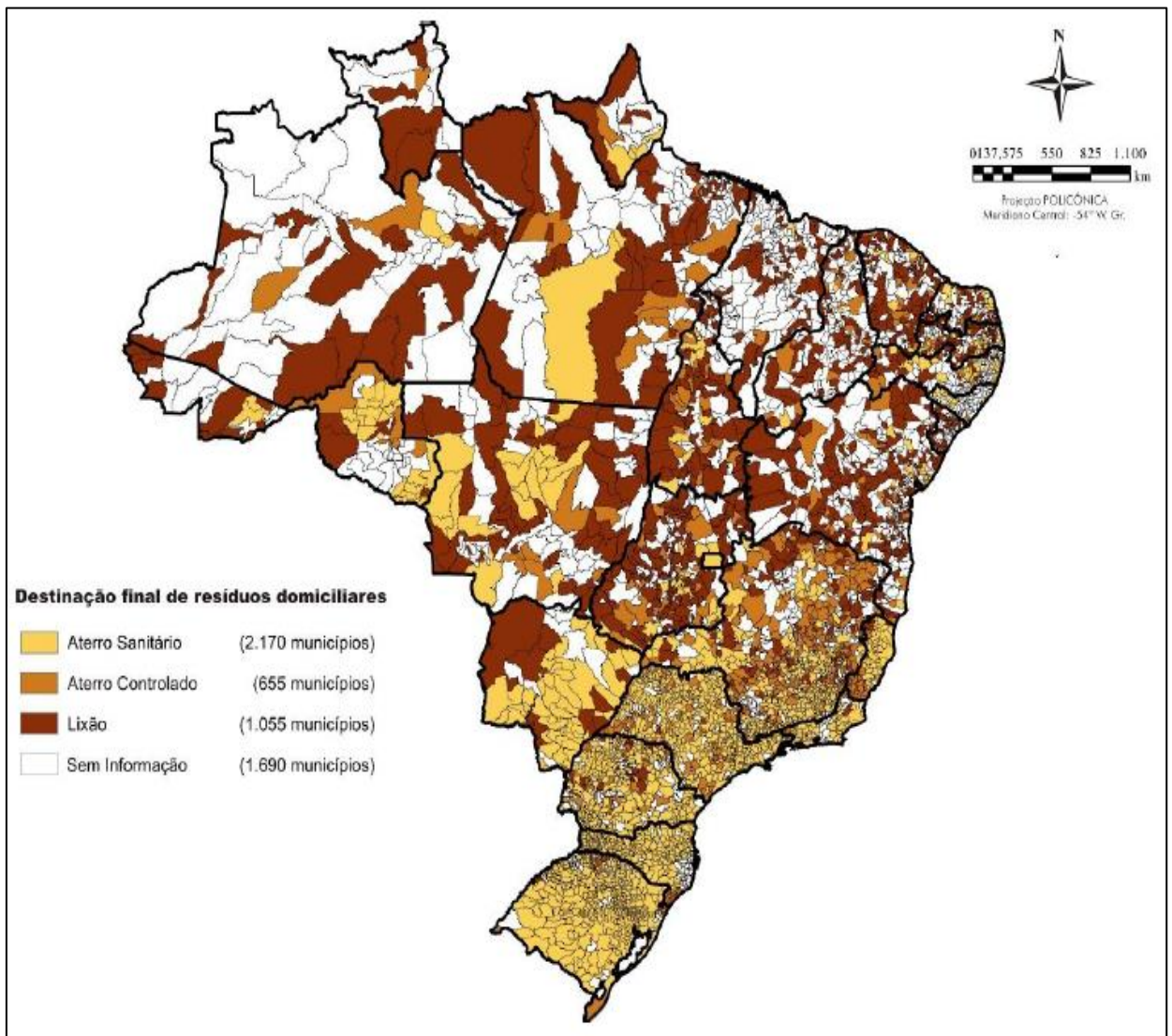
A PNRS exige em seu Art. 16 e Art. 18 que Estados, Municípios e Distrito Federal elaborem o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, correndo o risco do não repasse de verbas caso tal exigência não seja atendida. Também fica determinado nos Art. 15 e Art. 17, inciso V, que no Plano Nacional e nos Planos Estaduais deve estar contido metas que visem a eliminação e recuperação de lixões (BRASIL, 2010).

3.4 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos

Para Silva (2021), a disposição inadequada de resíduos é um grave problema que impacta diretamente de forma negativa na saúde da população, no meio ambiente e na sociedade como um todo.

No Brasil os tipos mais comuns de disposição final dos resíduos sólidos são os lixões, aterro controlado e aterro sanitário. Segundo dados do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (2019) do SNIS, dos 5.570 municípios brasileiros, 2.170 deles tinham como método de disposição final o aterro sanitário, 655 municípios destinavam os rejeitos para o aterro controlado, 1.055 para lixões e de 1.690 municípios não se tem informações como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Destinação final dos RSU para cada município brasileiro



Fonte: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (2019).

3.4.1 Lixão

Nos lixões não há nenhum tipo de tratamento ou controle dos resíduos dispostos, configurando uma das formas mais antigas e inadequadas para ser utilizada como forma de gerir os resíduos sólidos (FILHO, 2017).

De acordo com Marchi (2015) nos lixões não há nenhum cuidado para evitar a degradação ambiental, causando diversos impactos negativos para a natureza e para a sociedade.

Figura 2 - Destinação inadequada de resíduo sólido em lixão e catadores



Fonte: Portal resíduos sólidos (2013).

De acordo com a Lei 12.305/2010, Art. 54. “A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei”, ou seja, até 2014 (BRASIL, 2012).

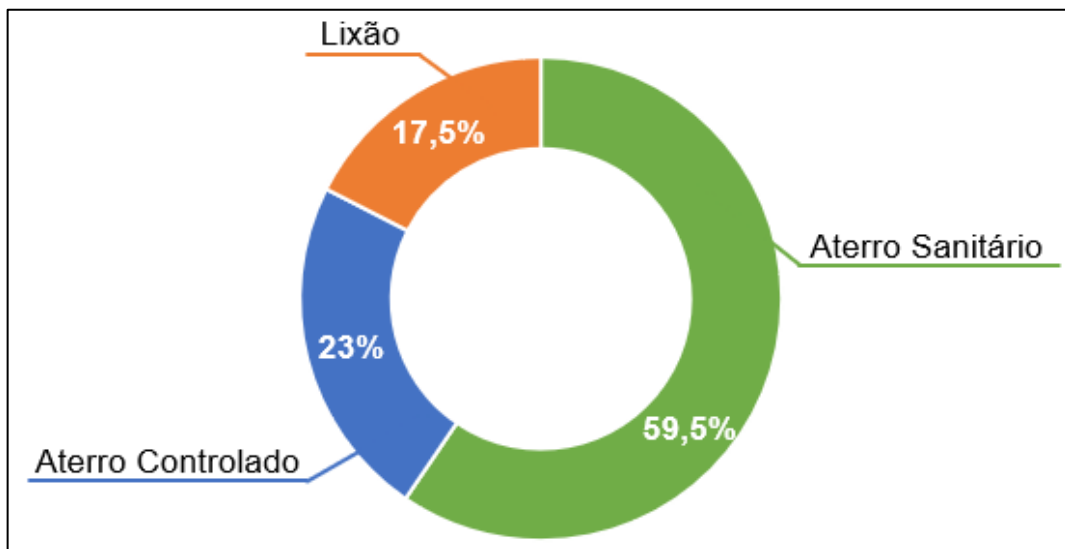
No entanto, a data para a extinção dos lixões foi postergada, segundo a Lei Federal 14.026/20, que atualiza o marco legal do saneamento básico, os novos prazos para a adequação da disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos são os seguintes:

- I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;
- II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e
 IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010 (BRASIL, 2020)

Com o prolongamento do prazo, pode haver uma exacerbação na atual conjuntura da disposição final dos resíduos sólidos urbanos, segundo dados da ABRELPE (2020), no ano de 2019 mais de 40% dos RSU foi disposto de forma inadequada e teve como disposição final aterros controlados e lixões, como pode ser visto no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Disposição final dos RSU no ano de 2019 no Brasil



Fonte: ABRELPE (2020, com adaptações).

3.4.2 Impactos causados pelos lixões

Segundo Vilhena (2010), nos lixões os resíduos encontram-se expostos a céu aberto sujeitos a desmoronamento e incêndios, há risco de contaminação do solo e do lençol freático pelo chorume, há o incômodo causado pelos maus odores exalados, pelos animais que ali circulam livremente, além da proliferação de vetores transmissores de doenças.

Um outro grande problema dos lixões é a disposição de todo tipo de resíduo, como resíduos industriais e resíduos de serviço de saúde (VILHENA, 2018), caracterizando um perigo a mais para os catadores que já estão expostos a vários perigos.

3.4.3 Aterro controlado

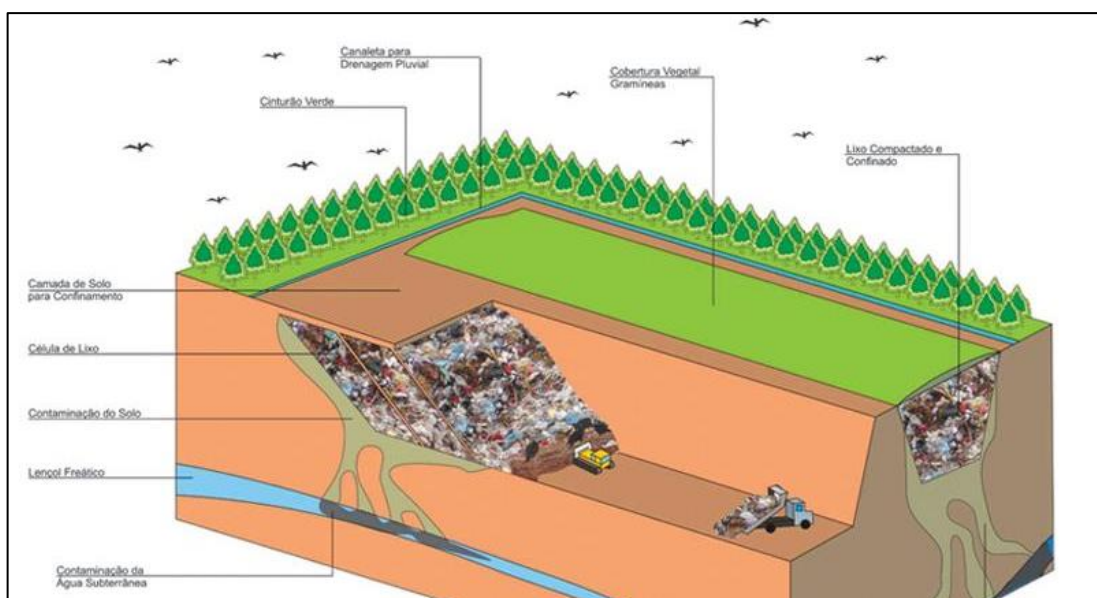
Segundo a NBR 8.849/1985, o aterro controlado pode ser definido da seguinte forma:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (NBR 8.849/1985, p. 2).

O aterro controlado apresenta semelhanças tanto com os aterros sanitários como com os lixões. De forma similar com os aterros sanitários, a área de distribuição dos resíduos é reduzida, gerando uma poluição localizada, porém, assim como os lixões, não há impermeabilização do solo nem sistema de tratamento do percolado, o que implica no risco de contaminação das águas subterrâneas, também não há sistemas para tratar o biogás gerado, elevando o risco de explosões (VILHENA, 2018).

Nesse tipo de disposição os resíduos ali alocados são limitados a menor área possível e recebem uma cobertura de terra ao final de cada jornada de trabalho ou intervalos maiores, minimizando assim a poluição visual e os maus odores exalados, além de evitar a proliferação de vetores transmissores de doenças. Dessa forma o aterro controlado pode ser considerado uma categoria intermediária entre o lixão e o aterro sanitário (ROSENDO, 2012).

Figura 3 - Esquema de um aterro controlado



Fonte: Regional News (2015).

3.4.4 Aterro sanitário

Ao entrar em vigor, a Lei Federal nº 12.305/2010, que tinha como um dos objetivos o fim dos lixões, se fez necessário uma análise mais aprofundada sobre a viabilidade econômica de soluções para a disposição final dos resíduos e seu posterior tratamento que fossem ambientalmente adequadas (BRANDÃO, 2011).

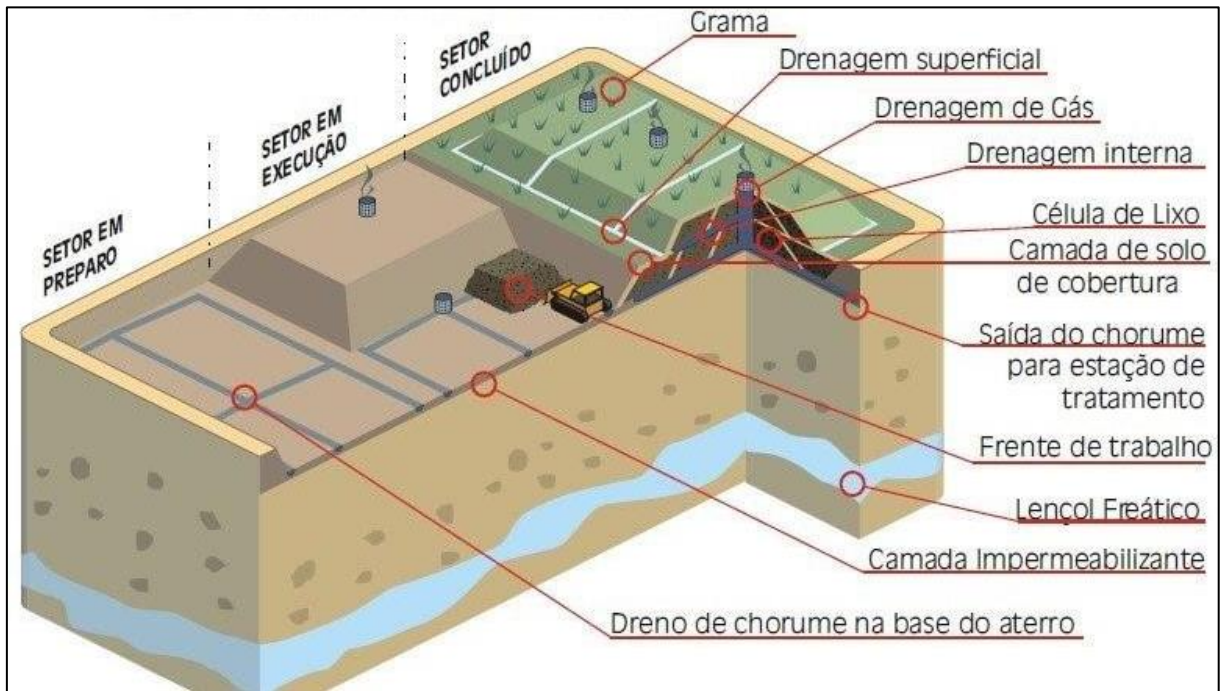
Uma das soluções encontradas para a correta destinação final dos resíduos foi o aterro sanitário, havendo a proteção do solo com a finalidade de evitar a contaminação das águas subterrâneas e um sistema de coleta e tratamento do biogás gerados devido a degradação dos resíduos (PEREIRA, 2020).

A NBR 8.419/92 define aterro sanitário como sendo:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (NBR 8.419/1992, p. 1).

Ao compararmos a definição de aterro controlado e aterro sanitário pode parecer, em um primeiro momento, que se trata do mesmo processo de destinação final, porém as diferenças entre os dois tipos de aterro estão principalmente na forma como é construído. Segundo Vilhena (2018) os aterros controlados não possuem impermeabilização do solo, sistemas de tratamento do percolato ou do biogás gerado.

Figura 4 - Esquema de um aterro sanitário



Fonte: Portal resíduos sólidos (2013).

No momento da concepção do aterro sanitário para uma determinada localidade deve-se analisar vários fatores, os principais são o porte do aterro e se é viável economicamente para aquele local, sendo sugerido a possibilidade da criação de consórcios municipais para os casos de pequenos municípios (KAJINO, 2005).

Uma outra opção para municípios com baixa geração de resíduos sólidos é a implantação de um aterro de pequeno porte, que segundo a NBR 15.849/2010 pode ser definido como aterros que recebem até 20 toneladas diárias de RSU.

3.5 Etapas de projeto

De acordo com PROSAB (2003) e a NBR 8.419/1992, a elaboração de um projeto desse tipo pode ser realizada seguindo as seguintes etapas:

a) Estudos preliminares

Busca conhecer as principais características do município e dos resíduos ali gerados, como por exemplo, o número de habitantes, situação econômica da população, índice de escolaridade, diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos

do município para com base nessas informações escolher a melhor forma de tratamento.

b) Seleção de áreas

Segundo Lino (2007), a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é um processo complexo, em que múltiplos elementos devem ser analisados como o meio físico (abiótico), biótico e socioeconômico.

A área selecionada para a implantação de um aterro sanitário deve atender uma série de requisitos que constam em leis, normas e recomendações das três esferas de poder federal, estadual e municipal (FAITA, 2018).

De acordo com a NBR 13.896/1997 e o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – MGIRS (2001) do IBAM, os critérios que devem ser observados na hora da escolha da área mais adequada podem ser vistos no Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios de seleção de áreas

Topografia	Característica que pode ser decisiva na escolha da área. É recomendado que a área possua declive superior a 1% e inferior a 30%.
Geologia	Deve ser observado a capacidade de depuração do solo e a velocidade de infiltração. É desejado que a área possua um coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s e zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.
Uso do solo	A área escolhida não pode estar inserida em unidades de conservação ambiental, deve se situar em áreas rurais ou industriais.
Proximidade a cursos d'água	É necessário avaliar a influência do aterro em relação à qualidade das águas superficiais e subterrâneas em sua proximidade. O aterro não pode se situar a menos de 200 m de corpos d'água relevantes (rios, lagos, lagoas etc.) e nem a menos de 50 m de outro corpo d'água. Também não deve ser construído em áreas sujeitas a inundações em períodos de recorrência de 100 anos.

Distância do lençol freático	Para aterros que utilizarão mantas plásticas para a impermeabilização deve haver uma distância mínima de 1,5 m entre o fundo da vala e o lençol freático. Já aterros que utilizarão solos argilosos como forma de impermeabilização a distância devem ser de pelo menos 2,5 m.
Vegetação	A vegetação pode auxiliar no que se refere a redução da erosão, formação de poeira e transporte de odores.
Acessos	O aterro deve ser de fácil acesso, é importante que as estradas possuam boas condições, sem curvas acentuadas e rampas muito íngremes.
Proximidade a núcleos populacionais	O limite da área útil do aterro deve possuir uma distância superior a 500 m de núcleos populacionais. Já para o MGIRS essa distância deve ser de no mínimo 1000 m.
Proximidade a aeroportos	A área selecionada não pode ser próxima a aeroportos ou aeródromos.
Tamanho disponível e vida útil	Estes elementos são relacionados diretamente. É recomendado que a vida útil mínima do aterro seja de 10 anos.
Custos	Há grande variabilidade dependendo do seu tamanho e método construtivo utilizado. É recomendado que o aterro esteja situado em local que possua abundância de matéria de cobertura, certificando assim que sempre tenha cobertura dos resíduos a baixo custo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Ao analisar todos esses critérios se busca de forma resumida menor potencial para geração de impactos ambientais, maior vida útil para o aterro, baixos custos de instalação e operação do aterro e menor oposição da comunidade (REICHERT, 2007).

c) Licenciamento Ambiental

Toda obra que utilize recursos do meio ambiente e que seja considerada poluidora ou potencialmente poluidora deve passar pelo licenciamento ambiental. Segundo Monteiro (2001) normalmente o licenciamento inicia com a obtenção da

licença prévia (LP) que autoriza o início de estudos de impacto ambiental inerentes a implantação do aterro sanitário e a elaboração do projeto executivo seguido pela elaboração da instrução técnica que servirá de guia para a concepção do EIA/RIMA. Entretanto, a resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008 estabelece que o licenciamento de aterros de pequeno porte seja feito de forma simplificada, sendo dispensado a apresentação do EIA/RIMA.

O empreendimento também deve obter a licença de instalação (LI) para que possa iniciar as obras, após a finalização do processo construtivo e fiscalização do órgão ambiental responsável que irá constatar se todas as medidas de controle ambiental e exigências de projeto que venham a existir foram cumpridas, o empreendimento receberá a licença de operação (LO) que permitirá seu funcionamento.

3.6 Projeto

Após a realização dos estudos preliminares, já se é capaz de determinar qual o tipo de técnica mais adequada de construção. Deve ser elaborado um memorial descritivo contendo de forma resumida uma descrição dos estudos preliminares e especificado o tipo de aterro que será implantado, além informações cadastrais, informações sobre os resíduos que serão dispostos na área, caracterização da área, concepção e justificativa do projeto, detalhamento e especificações dos elementos do projeto, operação e o que será feito na área posteriormente.

3.6.1 Elementos do projeto

A implantação de um aterro é constituída de vários elementos que desempenham funcionalidades próprias e quando concebidos adequadamente, permitem uma correta disposição final dos resíduos sólidos (PASSOS, 2019).

Os elementos de um projeto de aterro em trincheiras são:

3.6.1.1 Isolamento do aterro

De acordo com a NBR 15.849/2010, o aterro deve ser isolado de forma a evitar o trânsito de animais e pessoas, tal isolamento deverá ser feito em conjunto com o uso de cerca viva.

3.6.1.2 Sistema de drenagem superficial

Importante aspecto do projeto, deve-se detalhar os dispositivos utilizados na drenagem de águas superficiais, pois é necessário evitar entrada de águas pluviais no interior do aterro, visto que, o escoamento da água aumenta o volume de lixiviados e causa erosão o que pode destruir a camada de cobertura (PROSAB, 2003).

3.6.1.3 Sistema de drenagem e tratamento de lixiviados

Os lixiviados produzidos devem ser conduzidos para fora das trincheiras onde receberão o devido tratamento já que o não pode ser lançado diretamente em um corpo hídrico, em razão de suas características físico-químicas que atribuem um elevado potencial poluidor (PROSAB, 2009).

3.6.1.4 Impermeabilização de fundos e laterais

As trincheiras possuem a função de armazenar os resíduos sólidos gerados e os lixiviados por ele gerados sem causar poluição ambiental, dessa forma é de suma importância que o tanto o fundo como as laterais sejam impermeabilizados.

3.6.1.5 Sistema de drenagem de gases

Ao se decompor, os resíduos sólidos além dos lixiviados também é produzido gases, sobretudo o gás metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2), portanto são utilizados sistemas que impeçam que eles se desloquem para a atmosfera de forma incontrolada (TCHOBANOGLOUS, G., O'LEARY, P. R, 2002 citado por NISYAMA, 2016).

A NBR 15.849/ 2010 da ABNT define condições para o emprego do uso do sistema de drenagem de gases conforme consta no quadro 5.

Quadro 5 - Condições para adoção do sistema de drenagem de gases

Características do aterro	Altura final do aterro (m)		
		<3	>3
Fração orgânica dos resíduos (%)	<30	Dispensar	Dispensar
	>30	Dispensar	Considerar

Fonte: ABNT (2010, p. 5)

De acordo com Reichert (2007), a forma mais indicada de tratamento para os gases é a queima, fazendo uso de um queimador apoiado no dreno vertical de drenagem do gás na conclusão da trincheira.

3.6.1.6 Sistema de cobertura

A camada de cobertura possui o papel de propiciar o isolamento entre os resíduos e o meio externo, moderar a entrada e saída de gases do aterro, reduzir a infiltração de águas superficiais e evitar a proliferação de vetores (BOSCOV, 2008 citado por NISYAMA, 2016).

A cobertura pode ser realizada de várias formas: diária no fim da jornada de trabalho, cobertura intermediária quando o local ficará inativo por um período maior e a cobertura final quando a trincheira não será mais utilizada.

3.6.1.7 Monitoramento de águas do subsolo

Devido ao potencial poluidor que o aterro possui é necessário o constante monitoramento das águas subterrâneas para a verificação de que o aterro sanitário não está comprometendo a qualidade da água do lençol freático.

A fim de possibilitar o acompanhamento da qualidade das águas pode-se construir um sistema de poços que devem estar localizados a uma distância que estes não sejam influenciados pela difusão dos poluentes, devendo os poços a jusante estar o mais próximo do local em que ocorre a disposição dos resíduos sólidos, tendo em vista que dessa forma a detecção de agentes poluidores na água é feita de forma mais ágil (BOSCOV, 2008 citado por NISYAMA, 2016).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Serra Redonda está inserido na Mesorregião Agreste, no Estado da Paraíba, localizado nas coordenadas geográficas 07°11'08.28"S e 35°40'49.31"O e faz limites com os municípios de Alagoa Grande, Riachão do Bacamarte, Ingá, Juarez Távora e Massaranduba.

De acordo com o IBGE, o município abrange uma área de 55,19 km², localizando-se a aproximadamente 89,7 km de distância da capital João Pessoa e a 27,9 km de Campina Grande, principal polo urbano da microrregião

Figura 5 - Mapa de localização de Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

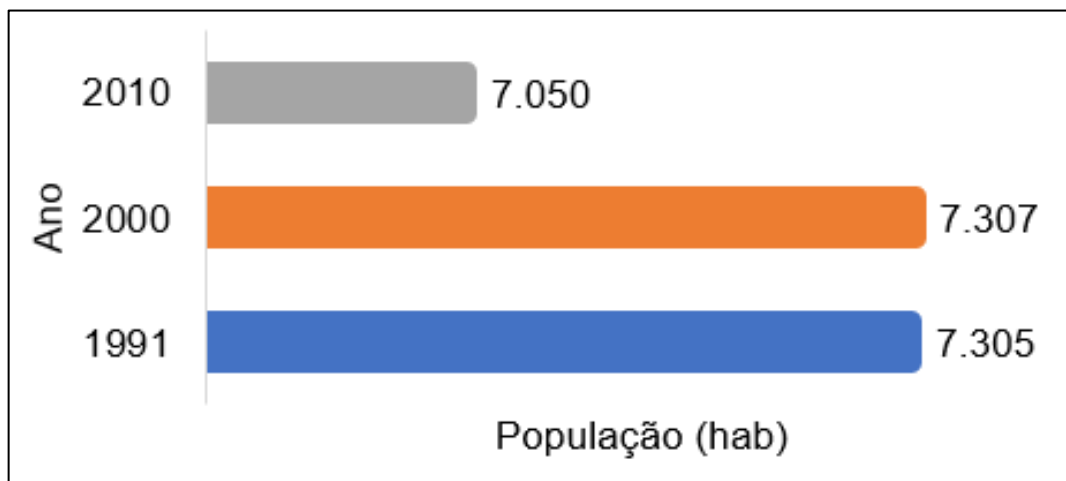
Segundo o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Serviço Geológico do Brasil, Serra Redonda está inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, possuindo uma típica paisagem do semiárido nordestino, com relevo de predominância do tipo suave-ondulado, sendo cortada por

vales estreitos e vertentes dissecadas. O clima é predominantemente do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão. Apresentando uma precipitação média anual de 431,8 mm, o seu período chuvoso inicia-se em novembro e vai até o mês de abril.

Sua população de acordo com o último censo realizado pelo IBGE em 2010, Serra Redonda tinha uma população de 7.050, dos quais 3.608 residiam em área urbana e 3.442 na área rural, com densidade demográfica de 126,11 hab/km², já no ano de 2020 a população estimada pelo IBGE foi de 7.021 pessoas.

No Gráfico 4 é possível ver a transformação no quantitativo de habitantes de Serra Redonda de acordo com os últimos 3 censos realizados.

Gráfico 4 - Variação do quantitativo populacional da cidade de Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Com base nos dados do IBGE foi realizada uma estimativa do crescimento populacional a ser adotada no dimensionamento do aterro sanitário. Os resultados da projeção populacional devem ser coerentes com a densidade populacional da área em questão.

Esses estudos são normalmente bastante complexos, devem-se analisar todas as variáveis que possam influenciar no local que está sendo estudado. Ainda assim podem ocorrer eventos inesperados que mudam totalmente a trajetória prevista para o crescimento populacional. Isto ressalta a necessidade do estabelecimento de um valor realístico para o horizonte do projeto.

A estimativa foi realizada para um período de vinte anos e utilizando três métodos distintos: método aritmético, método geométrico e método da taxa decrescente de crescimento.

a) Método aritmético

Admite uma taxa de crescimento populacional constante, utiliza dados censitários que já existem e o ajuste da curva pode ser feito através de análise de regressão. Possui melhor aplicação para estimativas de curto prazo. É calculado conforme as eq. (1) e (2).

$$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$K_a = \frac{P_2 + P_0}{t_2 - t_0} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

P_t = População total estimada para o ano de desejo.

P_0 = População no antepenúltimo censo considerado (hab).

P_2 = População do último censo considerado (hab).

K_a = Coeficiente.

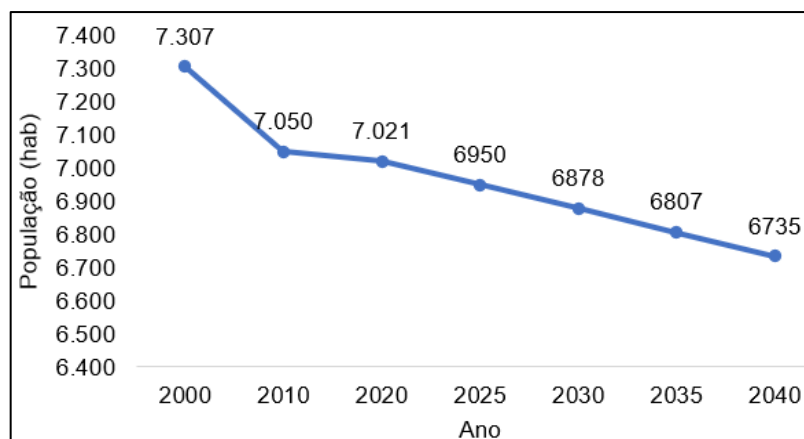
t = Ano para o qual a estimativa está sendo realizada.

t_0 = Ano do antepenúltimo censo considerado.

t_2 = Ano do último censo considerado.

O Gráfico 5 mostra os resultados obtidos através desse método.

Gráfico 5 - Projeção populacional pelo método aritmético para o município de Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

b) Método geométrico

Assume-se que no método geométrico o crescimento populacional e o crescimento da taxa sejam equivalentes a população existente em um determinado período. O ajuste da curva também pode ser feito através da regressão linear. Seu cálculo é realizado conforme a eq. (3) e (4).

$$P_t = P_0 \times e^{K_g \times (t - t_0)} \quad \text{Eq. (3)}$$

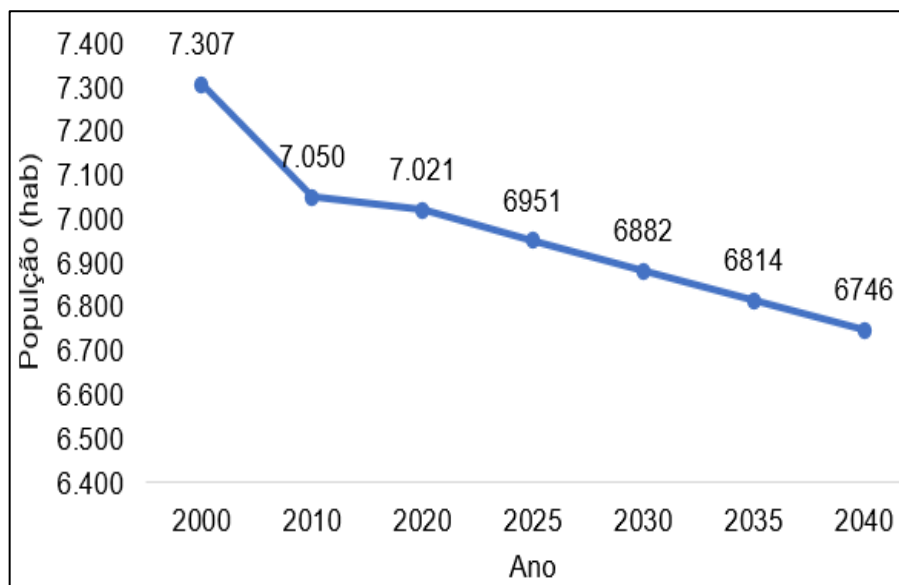
$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

K_g = Coeficiente.

Os resultados alcançados com essa metodologia estão apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Projeção populacional pelo método geométrico para o município de Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

c) Taxa decrescente de crescimento

Parte da premissa que à medida que a cidade cresce, a taxa de crescimento é menor, tendendo a um ponto de saturação. Seu cálculo se dá a partir das eq. (5), (6) e (7).

$$P_s = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$K_d = \frac{-\ln [(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \times [1 - e^{-K_d \times (t-t_0)}] \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

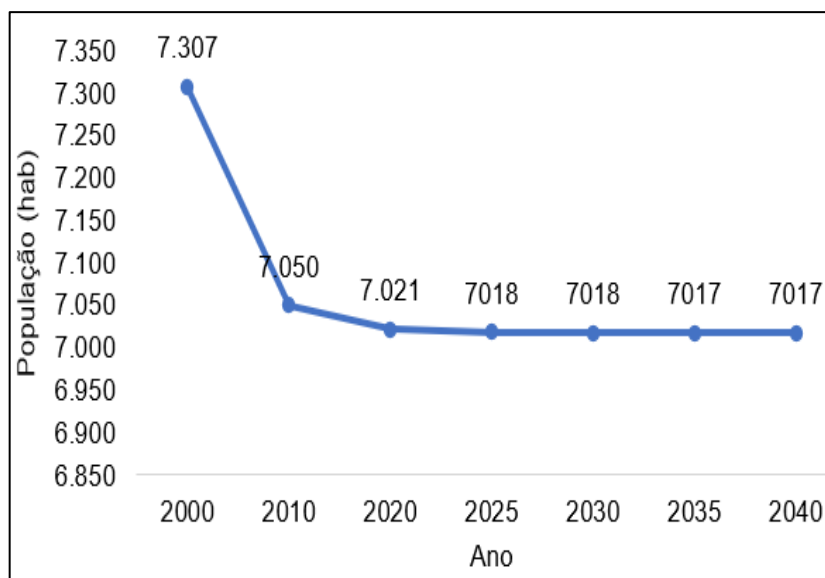
P_s = Ponto de saturação

P_1 = População no penúltimo censo considerado (hab).

K_d = Coeficiente.

No Gráfico 7 é possível visualizar os resultados atingidos por meio do método da taxa decrescente de crescimento.

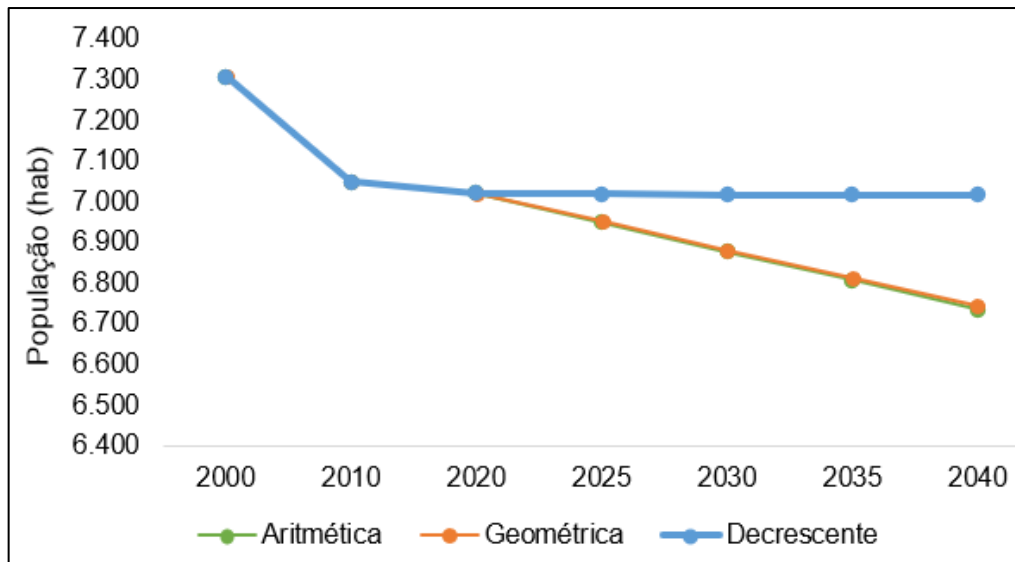
Gráfico 7 - Projeção populacional pelo método da taxa decrescente de crescimento para Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o propósito de escolher o método mais adequado para o presente estudo, foi realizada uma comparação entre as projeções que podem ser observadas no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Comparação entre os métodos de projeção populacional para Serra Redonda - PB



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Ao ponderar os métodos citados, observa-se que em todas as projeções os resultados obtidos foram próximos, dessa forma o método de projeção escolhido será o da taxa decrescente de crescimento, pois é o que apresenta o cenário com uma maior quantitativo populacional.

4.1.1 Análise dos resíduos coletados

4.1.1.1 Geração

Na zona urbana do município de Serra Redonda a coleta dos resíduos é executada uma vez por dia, sendo de segunda a sexta realizada no período da manhã e no sábado, dia que acontece a feira livre, a coleta é realizada à tarde, após o término da feira. Já na zona rural, essa coleta acontece semanalmente, geralmente na terça-feira.

Durante a coleta é recolhido os resíduos comerciais e domiciliares, não havendo distinção, exceto em casos expressos na Lei nº 12.305/2010 em que

resíduos que possuam composição ou volume diferentes dos caracterizados com RSU, a coleta e disposição final deve ser realizada pelo estabelecimento gerador (PMGIRS, 2019).

Até dezembro de 2020, operava em Serra Redonda uma unidade satélite da empresa calçadista Alpargatas. Com o fim das atividades da empresa, a cidade conta apenas com pequenos estabelecimentos comerciais e nos finais de semana com a feira livre.

De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS (2019) da cidade de Serra Redonda, o município tem uma geração média de 2,5 t/dia de resíduos, o que significa uma geração per capita de cerca de 0,35 kg/hab.

Com o crescente aumento do consumo e da geração de resíduos será estabelecido um aumento de 1% na geração per capita de resíduos com o propósito de evitar problemas relativos à vida útil do aterro, dessa forma no final da vida útil do aterro a geração per capita será de aproximadamente 0,439 kg/hab.dia.

Na Tabela 1 é possível verificar o crescimento da geração per capita para cada ano ao longo dos vinte anos da vida útil do aterro.

Tabela 1 - Estimativa da geração per capita de resíduos sólidos para Serra Redonda

Ano	Geração per capita (kg/hab)	Ano	Geração per capita (kg/hab)
2022	0,360	2032	0,397
2023	0,363	2033	0,401
2024	0,367	2034	0,405
2025	0,371	2035	0,409
2026	0,374	2036	0,413
2027	0,378	2037	0,418
2028	0,382	2038	0,422
2029	0,386	2039	0,426
2030	0,389	2040	0,430
2031	0,393	2041	0,434

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Ao realizar a estimativa de geração de resíduos para toda a vida útil do aterro, considerando uma taxa de coleta de 100%, primeiro multiplicou-se o valor da geração per capita de resíduos pela quantidade de habitantes, obtendo assim a geração diária

de resíduos conforme a Tabela 2. Como o objetivo é saber a quantidade de resíduos gerados para todos os anos de operação do empreendimento, a geração diária foi multiplicada por 365 dias, esse processo foi feito para cada ano da vida útil do aterro. A quantidade de resíduos gerados durante cada ano pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 2 - Estimativa de geração diária de resíduos sólidos para Serra Redonda

Ano	Geração diária de RSU (kg/dia)	Ano	Geração diária de RSU (kg/dia)
2022	2525	2032	2788
2023	2550	2033	2816
2024	2575	2034	2844
2025	2601	2035	2872
2026	2626	2036	2901
2027	2653	2037	2930
2028	2679	2038	2959
2029	2706	2039	2989
2030	2733	2040	3019
2031	2760	2041	3049

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Tabela 3 - Estimativa da geração anual de resíduos sólidos para Serra Redonda

Ano	Geração anual de RSU (t/ano)	Ano	Geração anual de RSU (t/ano)
2022	921	2032	1018
2023	931	2033	1028
2024	940	2034	1038
2025	949	2035	1048
2026	959	2036	1059
2027	968	2037	1069
2028	978	2038	1080
2029	988	2039	1091
2030	998	2040	1102
2031	1007	2041	1113

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A partir dos dados que constam na Tabela 3 é possível estimar a quantidade de resíduos gerados nos próximos vinte anos que é de aproximadamente 20.284 toneladas.

4.1.1.2 Composição gravimétrica

É através do conhecimento da composição dos resíduos coletados que se é possível o planejamento adequado da destinação ambientalmente adequada descritos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (ABRELPE, 2020).

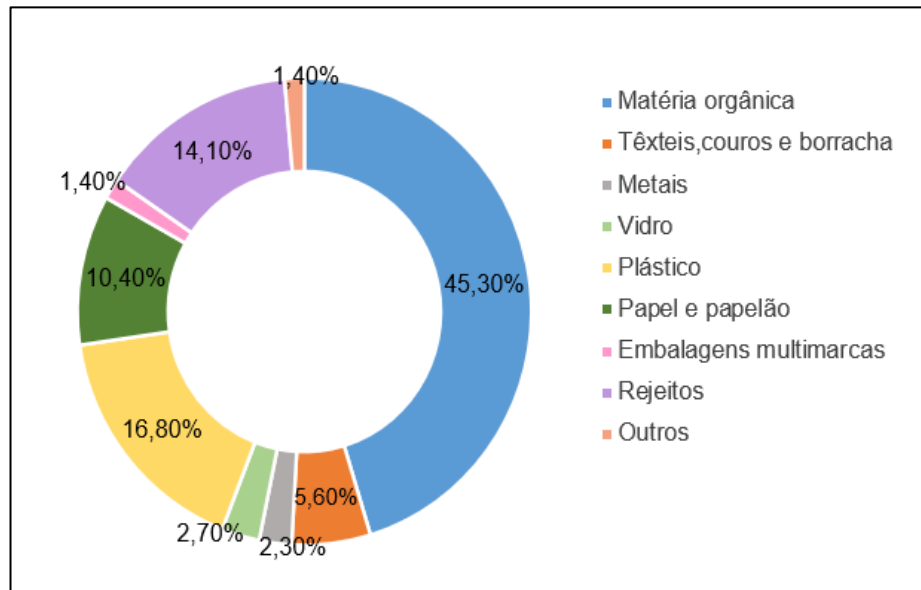
De acordo com a PNRS a composição gravimétrica pode ser definida como uma técnica em que os resíduos são caracterizados de forma quantitativa e qualitativa, a fim de descrever os tipos mais comuns de resíduos gerados (CPRM, 2005).

Através da composição gravimétrica é possível determinar o tipo de material presente em uma amostra de resíduo coletado e em que porcentagem ele se encontra em relação ao peso total da amostra.

Ao planejar o gerenciamento dos RSU, é de fundamental importância conhecer suas características, pois dependendo do número de habitantes, das condições socioeconômicas, nível educacional e costumes da população as características do que é descartado e seu volume pode variar radicalmente (GRIPPI, 2001).

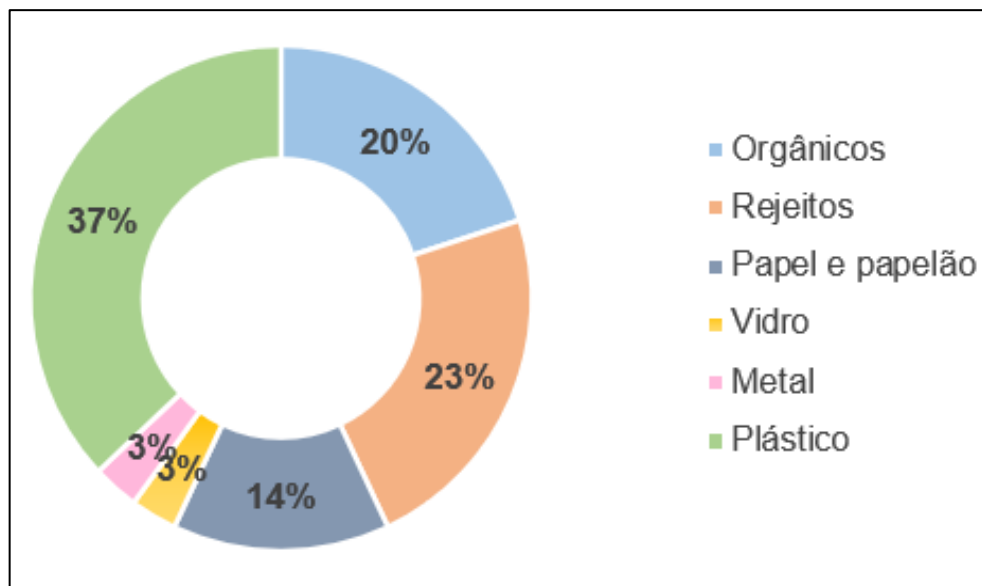
Logo, os resíduos sólidos são considerados um indicador socioeconômico, uma vez que dependendo do momento econômico que a sociedade está vivenciando, seus hábitos de consumo e conseqüente geração de resíduos serão alterados (CAMPOS, 2012).

De acordo com os dados divulgados pela ABRELPE (2020), no panorama de resíduos sólidos do Brasil, a composição gravimétrica média nacional dos RSU pode ser observada no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Composição gravimétrica nacional

Fonte: ABRELPE (2020, com adaptações).

De acordo com o PMGIRS (2019) do município de Serra Redonda, a composição gravimétrica dos RSU coletados é basicamente plástico, papel, papelão, resíduos orgânicos, entre outros. No Gráfico 10 é possível observar com maior precisão a porcentagem de cada material encontrado.

Gráfico 10 - Composição gravimétrica dos resíduos de Serra Redonda

Fonte: PMGIRS – Serra Redonda/PB (2019, com adaptações).

Ao observar a composição gravimétrica dos RSU coletados na cidade de Serra Redonda, é possível perceber que diferentemente da composição gravimétrica nacional visto no Gráfico 9 a porcentagem de matéria orgânica do município de Serra Redonda fica abaixo da média nacional, esse fato se deve ao costume da população de alimentar animais com restos de alimentos, influenciando assim diretamente na composição gravimétrica, também é perceptível que parte dos sólidos podem ser reaproveitados e reciclados, não necessitando ter como destinação final o aterro sanitário.

4.2 Dimensionamento do aterro de pequeno porte

4.2.1 Dimensões das trincheiras

Os cálculos necessários para o dimensionamento das trincheiras serão demonstrados a seguir:

a) Volume diário de ocupação (V_d)

$$V_d = \frac{(P \times P_{pc} \times \eta)}{d} \times t_c \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

P = População (hab)

P_{pc} = Produção per capita de resíduos (kg/hab.dia)

η = Abrangência da coleta (%)

d = Densidade do resíduo (kg/m³)

t_c = Fator de material de cobertura (%)

A densidade dos resíduos sólidos que foram compactados recentemente varia entre 400 e 500 kg/m³ e para resíduos estabilizados a variação é de 500 e 600 kg/m³ (JARAMILLO, 1991 citado por PROSAB, 2003).

b) Volume anual de ocupação (V_a)

$$V_a = V_d \times 365 \quad \text{Eq. (9)}$$

c) Volume médio diário de resíduos (V_{md})

$$V_{md} = \frac{\Sigma V_a(2022 \text{ a } 2041)}{(\text{vida útil do aterro} \times 365)} \quad \text{Eq. (10)}$$

Buscando facilitar a fase de execução do aterro será calculado o volume médio mensal de resíduos para então dimensionar o volume e as medidas da trincheira, também será adotado o tempo da vida útil da trincheira que será de 2 meses. PROSAB (2003) recomenda que esse período esteja compreendido entre 2 e 4 meses.

d) Volume médio mensal (V_{mm})

$$V_{md} = V_{mm} \times 30 \quad \text{Eq. (11)}$$

e) Volume da trincheira (V_t)

$$V_t = N^{\circ}_{\text{meses}} \times V_{mm} \quad \text{Eq. (12)}$$

Em que:

N°_{meses} = Vida útil da trincheira

f) Área

$$\text{área} = \left(\frac{B_a + B_e}{2} \right) \times h \quad \text{Eq. (13)}$$

Em que:

B_a = Largura superior (m)

B_e = Largura inferior (m)

h = Profundidade da trincheira (m)

g) Comprimento médio da trincheira (L)

$$L = \frac{V_t}{\text{área}} \quad \text{Eq. (14)}$$

h) Área superficial (A_s)

$$A_s = L \times B_a \quad \text{Eq. (15)}$$

i) Volume de ocupação dos resíduos por trincheiras (V_o)

$$V_o = \frac{h}{3} \times (SBa + (\sqrt{SBa \times SBe}) + SBe) \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde:

h = Altura da trincheira

SBa= Área da base maior

SBe= Área da base menor

j) Volume de escavação das trincheiras (V_e)

$$V_e = \frac{h}{3} \times (SBa + (\sqrt{SBa \times SBe}) + SBe) \quad \text{Eq. (17)}$$

k) Número de trincheiras para a vida útil do aterro

$$N^{\circ} \text{ de trincheiras} = \frac{\Sigma V_a(2022 \text{ a } 2041)}{V_o} \quad \text{Eq. (18)}$$

l) Área para o aterro

$$\text{Área para o aterro} = A_s \times N^{\circ} \text{ de trincheiras} \quad \text{Eq. (19)}$$

4.2.2 Impermeabilização

Parte fundamental no dimensionamento do aterro, é de suma importância que a impermeabilização das trincheiras seja executada de forma precisa evitando assim possíveis impactos negativos no meio ambiente.

Em razão do desconhecimento das características do solo de Serra Redonda, serão utilizadas mantas PEAD (polietileno de alta densidade) pois possuem alta resistência e custo moderado. No decorrer da fase de impermeabilização, o terreno deverá ser previamente limpo retirando pedras ou outros materiais que possam furar a manta.

a) Dimensionamento da manta

Considerando uma ancoragem de 1,5 m de cada lado da trincheira.

- Diagonal (comprimento do talude, da base até o topo)

$$Diagonal = \sqrt{b^2 + c^2} \quad \text{Eq. (20)}$$

- Lateral maior, são duas (L_{ma})

$$L_{ma} = Diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right) \quad \text{Eq. (21)}$$

- Lateral menor, também são duas (L_{me})

$$L_{me} = Diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right) \quad \text{Eq. (22)}$$

- Área da base (A_b)

$$A_b = Comprimento da base \times Largura da base \quad \text{Eq. (23)}$$

- Ancoragem (A_{nc})

$$A_{nc} = \text{Perímetro do topo} \times 1,5 \quad \text{Eq. (24)}$$

- Área da manta por trincheira (A_{mt})

$$A_{mt} = (2 \times L_{ma}) + (2 \times L_{me}) + A_b + A_{nc} \quad \text{Eq. (25)}$$

- Área da manta para o aterro

$$\text{Área de manta do aterro} = A_{mt} \times N^{\circ}_{\text{trincheiras}} \quad \text{Eq. (26)}$$

4.2.3 Sistema de drenagem superficial

a) Vazão de água pluvial (Q)

O cálculo da vazão das águas pluviais será feito através do método racional.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad \text{Eq. (27)}$$

Em que:

Q = Vazão de pico (m^3/s)

C = Coeficiente de escoamento de deflúvio

I = Intensidade da chuva (mm/h)

A = Área total da bacia de drenagem (ha)

Se faz necessário primeiramente o cálculo da intensidade de chuva que será feito através da curva IDF (Intensidade x Duração x Frequência), conforme a Eq. 28.

$$i = \frac{K \times T^m}{(t + B)^n} \quad \text{Eq. (28)}$$

Onde:

i = Intensidade da chuva

T = Período de retorno (anos)

t = Duração da precipitação (minutos)

K, B, m, n = Parâmetros característicos do local

b) Dimensionamento dos canais de drenagem

$$Q = A \times V \quad \text{Eq. (29)}$$

Em que:

Q = Vazão (m³/s)

A = Área da seção transversal (m²)

V = Velocidade de escoamento (m/s)

A velocidade de escoamento pode ser determinada através da fórmula de Chézy-Manning.

$$V = \frac{1}{n} \times Rh^{2/3} \times i^{0,5} \quad \text{Eq. (30)}$$

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad \text{Eq. (31)}$$

Onde:

n = Coeficiente de rugosidade

Rh = Raio hidráulico (m)

i = Declividade do canal

Am = Área molhada (m²)

Pm = Perímetro molhado (m)

4.2.4 Sistema de drenagem de lixiviados

O sistema de drenagem de lixiviados será dimensionado de acordo com sua produção e os cálculos podem ser vistos a seguir.

a) Vazão média de lixiviados (Q)

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K \quad \text{Eq. (32)}$$

Onde:

P = Precipitação média anual (mm/ano)

A = Área da trincheira (m²)

t = Número de segundo em 1 ano (31.536.000)

K = Coeficiente de compactação

Para aterros com baixo grau de compactação (400 a 700 kg/m³) o coeficiente de compactação varia entre 0,25 e 0,5. Já para aterros com alto grau de compactação (> 700 kg/m³) o coeficiente está entre 0,15 e 0,25. (ROCCA et al. 1993 citado por PROSAB, 2003).

b) Dimensionamento dos drenos

Para esta etapa é possível adotar um diâmetro para o dreno e verificar se o mesmo é adequado para o projeto através da seguinte equação:

$$Q = A \times V \quad \text{Eq. (33)}$$

Em que:

Q = Vazão (L/s)

A = Área da seção transversal (m²):

V = Velocidade de escoamento (m/s)

Manipulando a eq. (33) temos:

$$R = \sqrt{\frac{Q}{V\pi}} \quad \text{Eq. (34)}$$

4.2.5 Sistema de drenagem de gases

Não há uma forma certificada que estabeleça a vazão de biogás gerado em aterros, dessa forma o dimensionamento do sistema de drenagem dos gases é feito de forma empírica (SANTOS, 2019).

É aconselhado que sejam utilizados drenos para a dispersão dos gases produzidos, que podem ser colocados tanto na vertical como na horizontal, sendo usualmente utilizados os drenos verticais de forma que se interligam com os drenos de lixiviados, configurando assim chaminés de exaustão (PROSAB, 2003).

4.2.6 Isolamento

O aterro deverá dispor de cerca em toda sua extensão, delimitando a área do aterro e impedindo entradas de animais e pessoas não autorizadas, também deve ser criada uma cerca viva composta de espécies arbóreas.

4.2.7 Cobertura

A cobertura deve ser realizada diariamente ao fim de cada jornada de trabalho, que pode ser feita com solo do local com espessura entre 10 e 20 cm a fim de impedir a proliferação de vetores, a emissão de odores e minimizar a poluição visual. Como também deve ser realizada a cobertura final, quando a trincheira atingir sua capacidade total ela receberá uma cama de solo com altura aproximada de 60 cm recoberto com vegetação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Vida útil do aterro

Segundo a NBR 15.849/2010 a vida útil para aterros sanitários de pequeno porte deve ser no mínimo 15 anos. Para o aterro de Serra Redonda ficou definido um período de operação de 20 anos.

5.2 Dimensões da trincheira

Para o início do dimensionamento das trincheiras é necessário o cálculo dos volumes de ocupação, que foi realizado a partir dos dados que constam na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Dados iniciais de projeto de aterro sanitário da cidade de Serra Redonda

Ano inicial	2022
População inicial (habitantes) - P	7020
Geração per capita (Kg/hab.dia) - P _{pc}	0,360
Taxa de crescimento da geração per capita (%)	1
Densidade do resíduo (kg/m ³) - d	500
Fator de material de cobertura (%) - T _c	25
Cobertura do serviço de coleta (%) -	100

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

a) Volume diário de ocupação (V_d)

$$V_d = \frac{(P \times P_{pc} \times \eta)}{d} \times t_c = \frac{7020 \times 0,360 \times 1}{500} \times 1,25 = 6,31 \frac{m^3}{dia}$$

b) Volume anual de ocupação (V_a)

$$V_a = V_d \times 365 = 6,31 \times 365 = 2304 \frac{m^3}{ano}$$

A partir do cálculo desses volumes foi feita uma projeção para todos os anos de operação do aterro, que pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Evolução dos volumes de ocupação do aterro

ANO	População (hab)	Geração per capita (kg/hab.dia) - P_{pc}	Volume diário de ocupação (m^3 /dia) - V_d	Volume anual de ocupação (m^3 /ano) - V_a
2022	7020	0,360	6,31	2304
2023	7019	0,363	6,37	2326
2024	7019	0,367	6,44	2350
2025	7018	0,371	6,50	2373
2026	7018	0,374	6,57	2397
2027	7018	0,378	6,63	2421
2028	7018	0,382	6,70	2445
2029	7018	0,386	6,76	2469
2030	7018	0,389	6,83	2494
2031	7018	0,393	6,90	2519
2032	7017	0,397	6,97	2544
2033	7017	0,401	7,04	2569
2034	7017	0,405	7,11	2595
2035	7017	0,409	7,18	2621
2036	7017	0,413	7,25	2647
2037	7017	0,418	7,32	2674
2038	7017	0,422	7,40	2700
2039	7017	0,426	7,47	2727
2040	7017	0,430	7,55	2755
2041	7017	0,434	7,62	2782

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

c) Volume médio diário de resíduos (V_{md})

$$V_{md} = \frac{\Sigma V_a(2022 \text{ a } 2041)}{(\text{vida útil do aterro} \times 365)} = \frac{50710}{(20 \times 365)} = 6,95 \text{ m}^3$$

d) Volume médio mensal (V_{mm})

$$V_{mm} = V_{md} \times 30 = 6,95 \times 30 = 208,40 \text{ m}^3$$

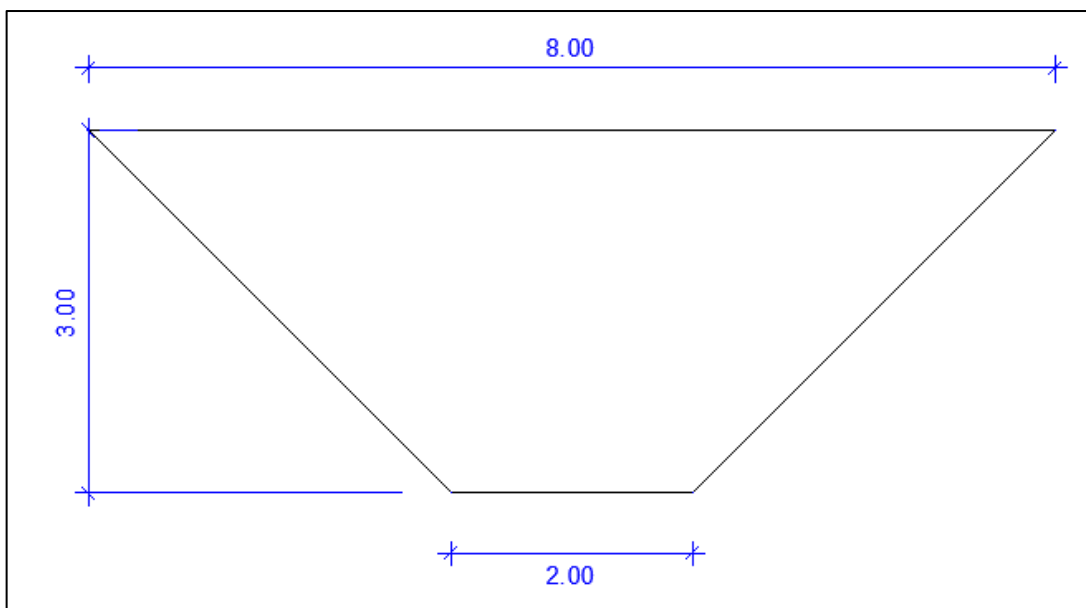
e) Volume da trincheira (V_t)

$$V_t = N^{\circ}_{meses} \times V_{mm} = 2 \times 208,40 = 416,80 \text{ m}^3$$

f) Comprimento médio da trincheira (L)

Considerando que a trincheira possui 8 m de largura superior, 2 m de largura inferior e 3 m de profundidade como na Figura 5 será possível determinar o seu comprimento médio. No Apêndice A e B é possível visualizar todas as medidas das trincheiras e no Apêndice C pode-se observar um corte detalhado da seção transversal.

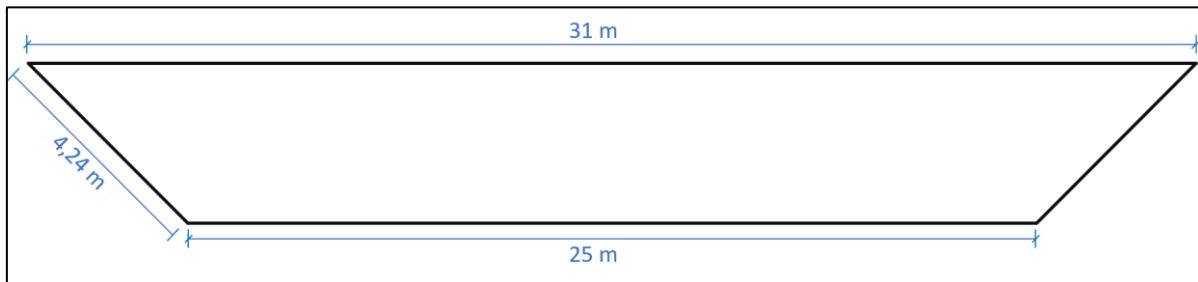
Figura 6 - Dimensões da seção transversal



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

$$L = \frac{V_t}{\text{área}} = \frac{416,80}{\left(\frac{8 + 2}{2}\right) \times 3} = 27,79 \text{ m}$$

Considerando o comprimento médio adotado de 28 m, a inclinação dos taludes sendo 1:1 e profundidade de 3 m o comprimento superior da trincheira será de 31 m e o comprimento inferior terá 25 m conforme Figura 7.

Figura 7 - Dimensões da seção longitudinal

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

g) Área superficial (A_s)

$$A_s = L \times B_a = 31 \times 8 = 248 \text{ m}^2$$

h) Volume de ocupação dos resíduos por trincheiras (V_o)

$$V_o = \frac{h}{3} \times (SBa + (\sqrt{SBa \times SBe}) + SBe) = \frac{3}{3} \times (232 + (\sqrt{232 \times 69}) + 69) = 409,4 \text{ m}^3$$

i) Volume de escavação das trincheiras (V_e)

Como a impermeabilização das trincheiras será feita utilizando manta de PEAD, é necessário um acréscimo de uma camada de solo de 60 cm de altura no fundo e nas laterais. Desse modo a trincheira irá apresentar as seguintes dimensões:

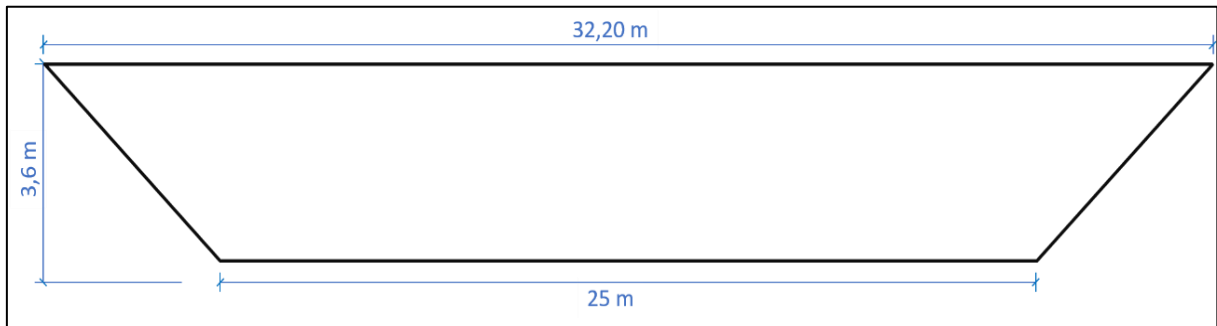
$$\begin{aligned} \text{Largura superior (Ba)} &= 8 + (2 \times 0,60) = 9,2 \text{ m} \\ \text{Largura inferior (Be)} &= 2 \text{ m} \\ \text{Profundidade (h)} &= 3 + 0,60 = 3,6 \text{ m} \\ \text{Comprimento superior} &= 31 + (2 \times 0,60) = 32,2 \text{ m} \\ \text{Comprimento inferior} &= 25 \text{ m} \\ \text{Área superior} &= 32,2 \times 9,2 = 296,24 \text{ m}^2 \\ \text{Área inferior} &= 25 \times 2 = 50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V_o = \frac{h}{3} \times (SBa + (\sqrt{SBa \times SBe}) + SBe) = \frac{3,6}{3} \times (296,24 + (\sqrt{296,24 \times 50}) + 50)$$

$$V_e = = 437,82 \text{ m}^3$$

Logo o volume de escavação após acrescentar o fator do material de cobertura o volume será de 547,3 m³.

Figura 8 - Dimensões de escavação da trincheira



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

j) Número de trincheiras para a vida útil do aterro

$$N^{\circ} \text{ de trincheiras} = \frac{\Sigma V_a(2022 \text{ a } 2042)}{V_o} = \frac{50710}{511,7} \cong 124$$

k) Área das trincheiras

$$\text{Área das trincheiras} = A_s \times N^{\circ} \text{ de trincheiras} = 248 \times 124 = 30.752 \text{ m}^2$$

Considerando um espaçamento entre as trincheiras de 2,5 m, a área de circulação necessária será de 19.840 m². Logo, a área total mínima para o aterro será de aproximadamente 50.600 m².

5.3 Dimensionamento da impermeabilização

5.3.1 Dimensionamento da manta

A manta deve ser disposta em superfície que não possua pedras, raízes ou qualquer outro tipo de objeto que possa rasgar a manta, dessa forma o local deve ser previamente limpo e o solo compactado com uma espessura de 60 cm.

Considerando uma ancoragem de 1,50 m em cada lado, temos:

d) Diagonal

$$Diagonal = \sqrt{b^2 + c^2} = \sqrt{3^2 + 3^2} = 4,24 \text{ m}$$

e) Lateral maior

$$L_{ma} = Diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right) = 4,24 \times \left(\frac{31 + 25}{2} \right) = 118,8 \text{ m}^2$$

f) Lateral menor

$$L_{me} = Diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right) = 4,24 \times \left(\frac{8 + 2}{2} \right) = 21,2 \text{ m}^2$$

g) Área da base

$$A_b = Comprimento da base \times Largura da base = 25 \times 2 = 50 \text{ m}^2$$

h) Ancoragem

$$A_{nc} = Perímetro do topo \times 1,5 = (31 + 31 + 8 + 8) \times 1,5 = 117 \text{ m}^2$$

i) Área da manta por trincheira

$$A_{mt} = (2 \times L_{ma}) + (2 \times L_{me}) + A_b + A_{nc} = (2 \times 118,8) + (2 \times 21,2) + 50 + 117$$

$$A_{mt} = 447 \text{ m}^2$$

j) Área da manta para o aterro

$$Área de manta do aterro = A_{mt} \times N^{\circ}_{trincheiras} = 447 \times 124 = 55.429,8 \text{ m}^2$$

5.4 Dimensionamento do sistema de drenagem superficial

a) Intensidade de chuva crítica (i)

Para dimensionar o sistema de drenagem é fundamental que seja conhecida a intensidade de chuva crítica para a localidade. Devido à falta de dados climatológicos para o município de Serra Redonda, os parâmetros da curva IDF utilizados serão os de Campina Grande, cidade mais próxima de Serra Redonda e que foram estabelecidos por Aragão *et al.* (1998) conforme quadro 5 a seguir:

Quadro 6 - Parâmetros da Curva IDF

K	334
m	0,227
B	5
n	0,596

Fonte: ARAGÃO *et al.* (1998).

Segundo o Guia para elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para RSU (2009), o tempo de retorno mínimo a ser adotado é de 5 anos, que será o valor adotado e duração da precipitação de 60 min, temos:

$$i = \frac{K \times T^m}{(t + B)^n} = \frac{334 \times 5^{0,227}}{(60 + 5)^{0,596}} = 40 \frac{mm}{h}$$

b) Vazão de água pluvial

Para se conhecer a vazão de água pluvial é necessário saber o valor do coeficiente de escoamento superficial que também é conhecido por coeficiente de deflúvio ou runoff.

Como não há uma área específica determinada para a construção do aterro, a superfície adotada será a de gramado com cobertura de 50% a 70% da área e declividade média de 2% a 7%, de tal modo que o coeficiente de escoamento para um tempo de 5 anos será de 0,36 como pode ser visto no Anexo A. A área utilizada no cálculo será a área mínima calculada para o aterro de 50.600 m².

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} = \frac{0,36 \times 40 \times 5,06}{360} = 0,202 \frac{m^3}{s}$$

5.4.1 Dimensionamento dos canais de drenagem

A vazão encontrada é para toda a área do aterro, porém, no dimensionamento dos canais a vazão deve ser dividida pelas sub-bacias. Logo, considerando um canal de 25 x 25 cm com altura da água de 10 cm, Rh calculado de 0,14 e velocidade de escoamento de 4,61 m/s. A vazão será de:

$$Q = A \times V = 0,36 \times 4,61 = 0,288 \frac{m^3}{s}$$

É possível verificar que a vazão é calculada maior que a vazão para toda área, sendo assim, os canais dimensionados serão capazes de drenar as águas pluviais do local.

5.5 Dimensionamento do sistema de drenagem de lixiviados

a) Vazão média de lixiviado (Q)

Ao calcular a vazão média de lixiviado se fez necessário conhecer a precipitação média anual da localidade, segundo o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Serviço Geológico do Brasil a precipitação para a cidade de Serra Redonda é de 431,8 mm/ano.

$$Q = \frac{1}{31536000} \times 431,8 \times 248 \times 0,5 = 0,00170 \frac{L}{s}$$

b) Dimensionamento dos drenos

$$R = \sqrt{\frac{Q}{V\pi}} = R = \sqrt{\frac{0,00170}{4,61 \times \pi}} = 0,00034 \text{ m ou } 34 \text{ mm}$$

Como a geração de lixiviados é muito pequena recomenda-se utilizar o menor diâmetro comercial.

O tratamento do lixiviado, sugerido para esses casos, é que seja feito no fundo da trincheira um leito de 30 cm de brita 1 ou 2 ou canaleta central com brita 3 e inclinação de fundo de 1% (PROSAB, 2003).

5.6 Dimensionamento do sistema de drenagem de gases

Usualmente o dimensionamento dos drenos é feito de forma empírica, utilizando-se drenos com diâmetros variando entre 50 e 100 cm, em alguns casos podem ser de 150 cm, e preenchidos com brita 3, 4 ou 5. Sua distribuição dentro da trincheira é feita de acordo com seu raio de influência que pode variar entre 15 e 30 m (REICHERT, 2007).

Portanto, os drenos adotados possuirão um raio de influência de 30 m, dessa forma será utilizado um dreno por trincheira que ficará localizado no centro, com diâmetro de 100 cm e preenchidos com brita 4. O comprimento dos drenos será de 4,10 m vindo do fundo da trincheira passando pela camada final de solo de forma a 0,5 m depois da cobertura final.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi exposto neste estudo o dimensionamento de um aterro sanitário de pequeno porte para a cidade de Serra Redonda, buscando assim demonstrar a importância da correta disposição final de resíduos sólidos, a fim de evitar impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade como um todo.

De acordo com o programa Lixão Zero do Governo Federal, municípios que possuem o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborado, podem vir a ter acesso a recursos da União, incentivos financeiros de entidades federais de crédito ou fomento para a implantação do aterro, porém deve-se ter cautela quanto aos custos de operação. É importante que seja feita uma análise sobre a viabilidade econômica de implantação do aterro, a fim de determinar se com a instalação de um aterro de pequeno porte os custos com a disposição final dos resíduos seriam atenuados e se o município teria condições de manter o aterro operando. Uma alternativa para o caso da instalação do aterro individual não se mostrar viável seria a criação de um consórcio público com outros municípios da região, sendo essa alternativa incentivada pela PNRS, que no art. 45 afirma que os consórcios terão prioridade na obtenção de incentivos instituídos pelo Governo Federal.

A construção do aterro pode ser vista como um início para a implantação de políticas públicas voltadas para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico do município com uma possível implantação de um sistema de coleta seletiva e cooperativa de reciclagem.

REFERÊNCIA

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. Disponível em <www.abrelpe.org.br>. Acesso em 02 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8849: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. 1985.

_____. **NBR8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. 1992.

_____. **NBR13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro. 1997.

_____. **NBR10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

_____. **NBR15849: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro. 2010.

ARAGÃO, R. et al. **Chuvvas Intensas no Estado da Paraíba**. In: **Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, volume 2, 1998.

BRANDÃO, Alberto de Oliveira; DA SILVA, Glauber Nóbrega. **IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS INDIVIDUAIS NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS**. Holos. v 3. p. 84-96. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/586>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 404, de 11/11/2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos**. Brasília, 2008.

_____. 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**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm Acesso em: 14 abr. 2021.

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art6> Acesso em: 14 abr. 2021.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília. 2020. 244 p. CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 171-

180, Junho 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artt ext&pid=S1413-41522012000200006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 Mar. 2021.

CASTILHOS JR., A.B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. ABES. PROSAB. Rio de Janeiro. 2003. 294 p.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Serra Redonda, estado da Paraíba**. Recife.2005.

DEMAJOROVIC, Jacques; BRASIL, Migliano; ERNESTO, João. **Política nacional de resíduos sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no brasil**. Revista Gestão & Regionalidade.2013. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=133429359006>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

FIGUEIREDO, P. J. M. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. UNIMEP. 2º edição. Piracicaba. 1994. Disponível em: <<http://www.ichs.ufop.br/cadernosdehistoria/download/CadernosDeHistoria-04-14.pdf>>. Acesso em 10 abr. 2021.

FILHO, Severino Ricardo Silva. **Proposta de modelo de aterro sanitário simplificado para municípios de pequeno porte**. TCC (Graduação). UFPB. João Pessoa. 2017. Disponível em: <<http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/proposta-de-modelo-de-aterro-sanitario-simplificado-para-municipios-de-pequeno-porte.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

GOMES, Luciana Paulo. **Resíduos sólidos: estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. 360 p. Rio de Janeiro: ABES. PROSAB, 2009.

GOMES, Guilherme José Correia. **Análise da adição de composto orgânico para dimensionamento de biocoberturas em aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado) - UFPB, Recife. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/39361/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Guilherme%20Jos%c3%a9%20Correia%20Gomes.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

GRIPPI, Sidney. **Lixo: reciclagem e sua história**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos - relatório de pesquisa**. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012. 82 pg. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatorio_pesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2021.

KAJINO, Leica Kotsuko. **Estudo de viabilidade de implantação, operação e monitoramento de aterros: uma abordagem econômica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2005.

LIBANIO, Paulo Augusto Cunha. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume.** Dissertação (Mestrado). UFMG, Belo Horizonte. 2002.

LINO, Isabela Coutinho. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2007.

FAITA, Mayara Maezano. *et al.* **Critérios para identificação de áreas para implantação de aterro sanitário.** Colloquium Exactarum. v. 10, n. 3, p. 23–37, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2747>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MONTEIRO, José Henrique Penido. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. **Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos.** Revista Brasileira de Gestão Urbana. Salvador-BA, v. 7, n. 1, p. 91-105, jan - abr. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/urbe/a/kZV9T6f3fDPsf5gMMMCMKqN/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos003_182.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

NARUO, Mauro Kenji. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas.** Dissertação (Mestrado) – USP, São Carlos. 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-30092010-115258/publico/Dissertacao_Mauro_Naruo.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

NISYAMA, Felipe Leite. **Aspectos geotécnicos e ambientais relacionados à implantação do Aterro Sanitário Oeste.** TCC (Graduação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em <<http://bdm.unb.br/handle/10483/16975>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

OBLADEN, Nicolau Leopoldo. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos.** CREA -PR. Vol. 2, p.35-36. Paraná. Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/Publica%C3%A7%C3%B5es-Tem%C3%A1ticas-Guia-para-Elabora%C3%A7%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanit%C3%A1rios-para-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Urbanos-Volume-II.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

PASSOS, Eduardo Lelis. **Caracterização geotécnica de área na implantação de um aterro sanitário – estudo de caso do aterro sanitário de Brasília / DF.** TCC

(Graduação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13968/1/21389424.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

PEREIRA, S. V.; MARTINS, H. M. **A política nacional de resíduos sólidos e os desafios sociais na extinção dos lixões: o caso de jardim Gramacho – RJ.** Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado - RS. 2020 p. 10. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/VIII-014.pdf>> Acesso em: 15 abr. 2021.

PREFEITURA DE SERRA REDONDA. **Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos. 2019.** Disponível em: <<https://serraredonda.pb.gov.br/images/arquivos/documentos/1570112594.pdf>> Acesso em: 29 mar. 2021.

SILVA, W. K. A. S.; TAGLIAFERRO, E. R. **Aterro sanitário - a engenharia na disposição final de resíduos sólidos.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 12216–12236, 8 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24153/19338>> Acesso em: 26 de abril de 2021.

REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Manual** 2007. 117 p. Disponível em: <<https://vdocuments.com.br/manual-aterro-sanitario-2007-geral-do-reichertpdf.html>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (2015-2034)**, Rio Grande do Sul, dezembro de 2014. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/noticias/arq/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

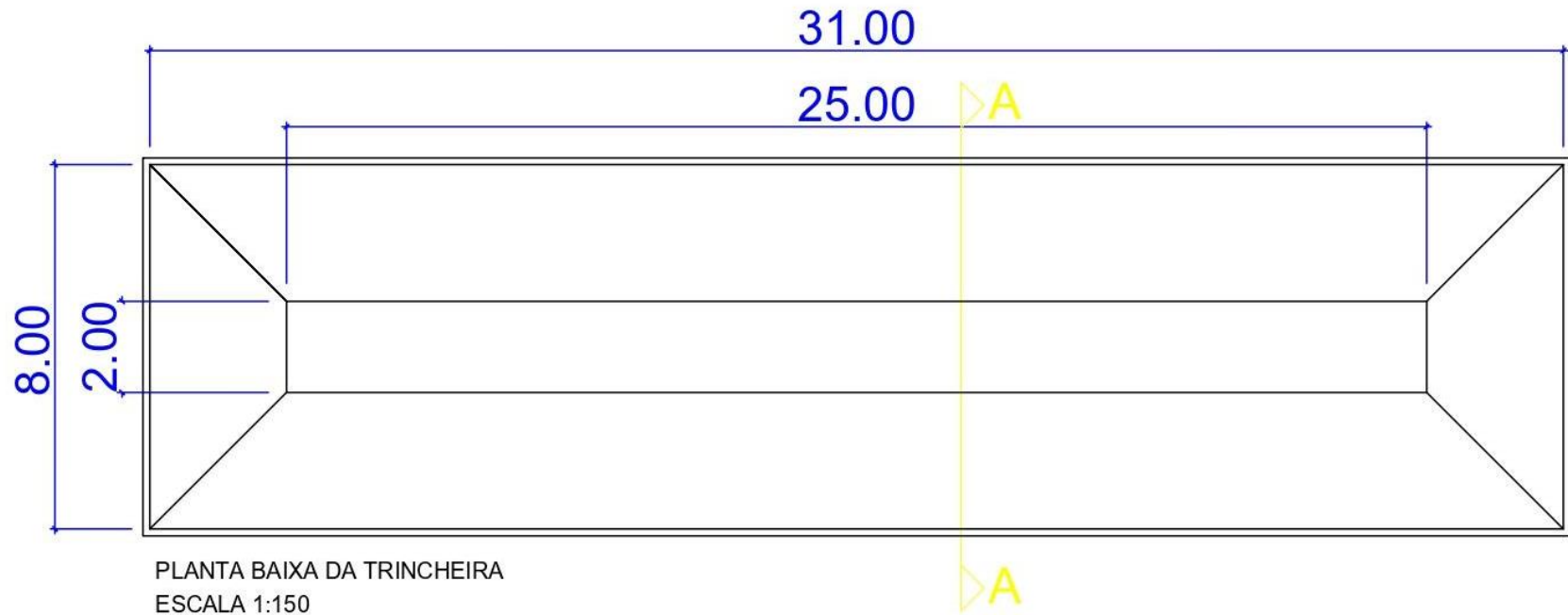
ROSENDO, J. S.; LUIZ, L. **Identificação dos impactos ambientais decorrentes dos resíduos sólidos produzidos na área urbana do município de Capinópolis-MG.** Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium, v. 3, n. 1, p. 182-200, ago. 2012.

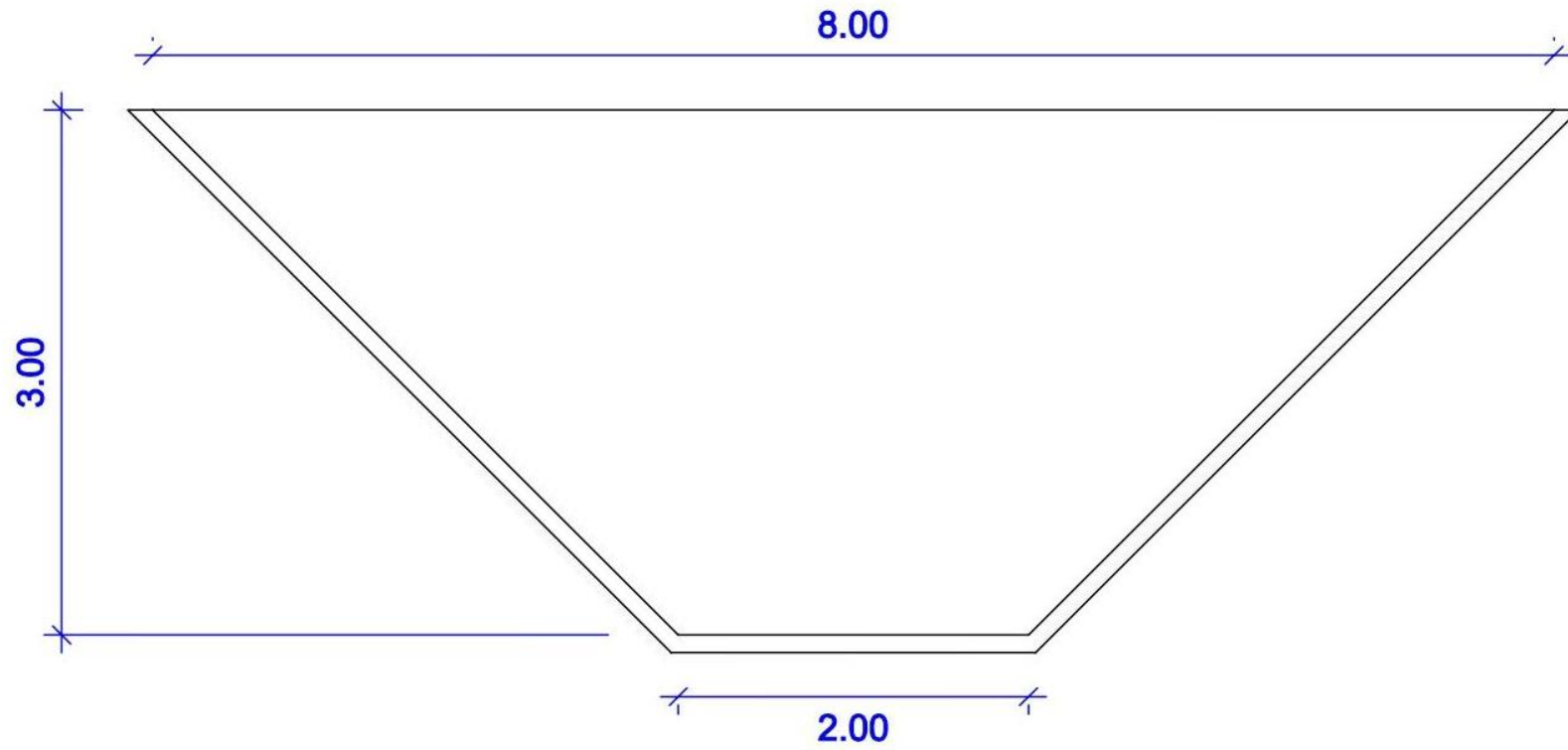
SANTOS, Diomar Lopes. **Análise e dimensionamento de aterro sanitário para as cidades de Silvânia e Vianópolis.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 83p. 2019. Disponível em: <<http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/8698/1/Diomar%20Lopes.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

VILHENA, A (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 3 Ed. São Paulo: CEMPRE, 2010. p. 350.

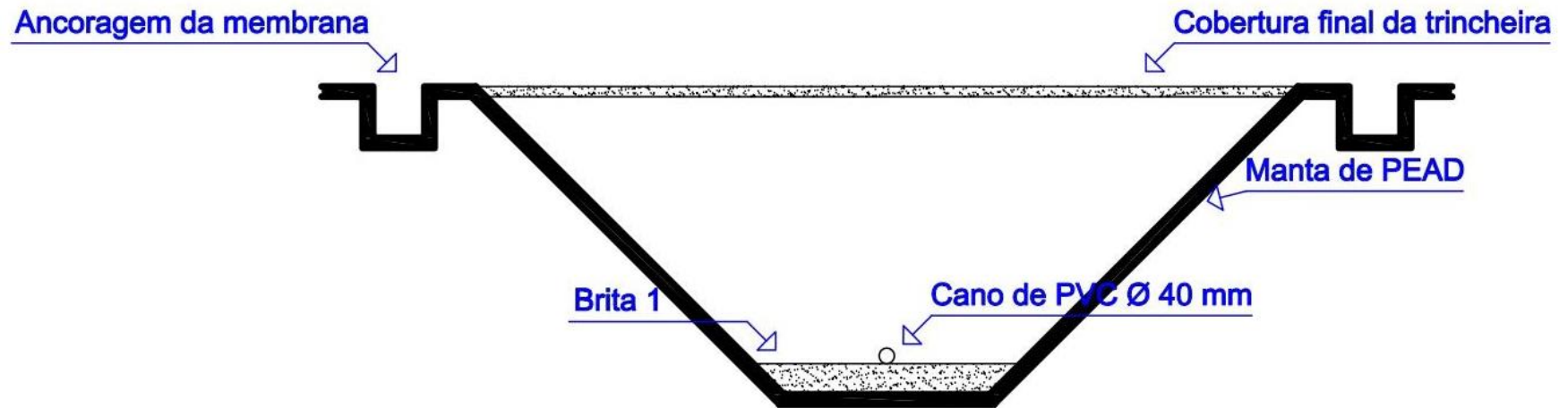
_____, A (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 4 Ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. p. 316.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DA TRINCHEIRA



APÊNDICE B – CORTE A – A (SEÇÃO TRANSVERSAL)**CORTE A - A**

APÊNDICE C – DETALHE CORTE A – A



DETALHE CORTE A - A

ANEXO A – VALORES DE C

Superfície	Tempos de Retorno (anos)						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/telhado	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Gramados (Cobrimento de 50% da área)							
- Plano (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
- Média (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
- Inclinado (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Gramados (Cobrimento de 50 a 70% da área)							
- Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
- Média (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
- Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Gramados (Cobrimento maior que 75% da área)							
- Plano (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
- Média (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
- Inclinado (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Campos cultivados							
- Plano (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
- Médio (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
- Inclinado (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastos							
- Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
- Médio (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
- Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Florestas/Reflorestamentos							
- Plano (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
- Médio (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
- Inclinado (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fonte: Mello e Silva, 2009