

**FACULDADE GALILEU
ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS DANIEL NUNES DE OLIVEIRA

**ATERRO SANITÁRIO: SOLUÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS (RSU) NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP**

BOTUCATU

2020

LUCAS DANIEL NUNES DE OLIVEIRA

**ATERRO SANITÁRIO: SOLUÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS (RSU) NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP**

Projeto apresentado à disciplina de TCC
(Trabalho de Conclusão de Curso) da
Faculdade GALILEU, como requisito parcial
para a obtenção do grau de **Bacharel em
Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Arq. Urb. Márcio Antônio Salvi

BOTUCATU

2020

ATERRO SANITÁRIO: SOLUÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP

Por

LUCAS DANIEL NUNES DE OLIVEIRA

Projeto apresentado à disciplina de TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) da **Faculdade GALILEU**, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Civil** examinado por.

Prof. Esp.

Orientador: Arq. Urb. Márcio Antônio Salvi

Orientador Prof. Esp. Arq. Urb. Márcio Antônio Salvi

**BOTUCATU /SP
2020**

BANCA EXAMINADORA

Data da Aprovação: _____

Avaliador 1

Nome: _____

Assinatura: _____

Avaliador 2

Nome: _____

Assinatura: _____

Avaliador 3

Nome: _____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha namorada, Isabela, pela atenção, amor e compreensão na realização deste trabalho;

Agradeço aos meus pais que acreditaram em mim e por todo incentivo e carinho;

Agradeço meus amigos de curso que estiveram comigo desde o início;

Agradeço a compreensão e auxílio do meu Orientador para a construção deste trabalho;

Agradeço a Prefeitura Municipal de Botucatu, em especial ao Engenheiro Daniel Lunardi, que proporcionou e auxiliou na visita técnica ao Aterro Sanitário de Botucatu.

“A persistência é o caminho do êxito.”.

Charles Chaplin

RESUMO

Levando em consideração a crescente geração de resíduos sólidos urbanos e seus impactos ambientais decorrentes de sua inadequada disposição, pesquisa-se sobre um dos métodos finais mais adequados de descarte dos resíduos a fim de apresentar o funcionamento dos aterros sanitários. Portanto, foi realizada uma pesquisa descritiva de caráter qualitativo, realizada através de uma revisão bibliográfica com o objetivo de iniciar os conhecimentos referentes ao tema e apresentar dados sobre o aterro de Botucatu e seu funcionamento. Diante disso, foi possível compreender as formas de descarte dos resíduos sólidos, como os aterros sanitários e suas modalidades, com ênfase no Aterro Sanitário de Botucatu, e os impactos causados por depósitos de resíduos à céu aberto, o que impõe a constatação de que, embora seja um método ambientalmente adequado, mais de 80% de todos esses resíduos coletados poderiam ser reciclados, aumentando, dessa forma, a vida útil do projeto inicial do aterro.

Palavras-chave: Aterro sanitário; Resíduos Sólidos; Botucatu.

ABSTRACT

Taking into account the increasing generation of solid urban waste and its environmental impacts resulting from its inadequate disposal, research is done on one of the most appropriate final methods of waste disposal in order to present the functioning of landfills. Therefore, a qualitative descriptive research was carried out, carried out through a bibliographic review in order to start the knowledge related to the theme and present data about the Botucatu landfill and its operation. Therefore, it was possible to understand the ways of disposing of solid waste, such as landfills and their modalities, with emphasis on the Botucatu Landfill, and the impacts caused by open-air waste deposits, which imposes the observation that, although it is an environmentally friendly method, more than 80% of all of this collected waste could be recycled, thereby increasing the useful life of the initial design of the landfill.

Keywords: Landfill; Solid residues; Botucatu.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lixão a céu aberto	13
Figura 2. Classificação granulométrica segundo o coeficiente de permeabilidade...	17
Figura 3. Impermeabilização de um aterro sanitário com geomembrana	18
Figura 4. Drenagem em "espinha de peixe" de um aterro	20
Figura 5. Dreno cego	21
Figura 6. Dreno tubular.....	21
Figura 7. Canaletas de captação das águas pluviais	24
Figura 8. Sistema de drenagem de gases	25
Figura 9. Método de Vala	28
Figura 10. Método de Rampa.....	29
Figura 11. Método de Área.....	30
Figura 12. Município de Botucatu	32
Figura 13. Aterro Sanitário de Botucatu	37
Figura 14. Balança de pesagem do caminhão	37
Figura 15. Veículos de compactação	38
Figura 16. Caminhão de coleta convencional.....	38
Figura 18. Espalhamento de resíduos.....	38
Figura 17. Terra para compactação	38
Figura 19. Dreno vertical de gás.....	39
Figura 20. Lagoa de acumulação do chorume	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de RSU gerados por regiões e Brasil	10
Tabela 2. Sistemas de drenagem do lixiviado.....	19
Tabela 3. Volume dos resíduos sólidos	22
Tabela 4. Composição gravimétrica dos RSD da cidade de Botucatu.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Coleta de RSU Per Capita	10
Gráfico 2. Composição dos RSU.....	11
Gráfico 3. Precipitação da cidade de Botucatu.....	33
Gráfico 4. Composição gravimétrica dos RSD	34

LISTA DE SIGLA

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente no Brasil

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

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa.....	7
1.2 Objetivo	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 Os resíduos sólidos urbanos.....	8
2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos	8
2.1.2 Estimativa de produção de resíduos.....	9
2.1.3 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	11
2.1.4 Legislação referente aos resíduos sólidos no Brasil	11
2.2 Lixão	13
2.2.1 Lei Nacional de Resíduos Sólidos	14
2.3 Aterro Sanitário	15
2.3.1 Critérios para a implementação de um Aterro Sanitário	15
2.3.2 Impermeabilização.....	16
2.3.2.1 Sistema de impermeabilização de base	17
2.3.2.2 Sistema de cobertura.....	18
2.3.3 Sistemas de Drenagem	19
2.3.3.1 Drenagem do Líquido Lixiviado	19
2.3.3.1.1 Vazão do Lixiviado	22
2.3.3.1.2 Tratamento do Lixiviado	23
2.3.3.2 Drenagem de águas pluviais	23
2.3.3.3 Drenagem de Gases.....	24
2.3.4 Tempo de vida útil de um aterro sanitário.....	25
2.3.5 Métodos construtivos para disposição final dos resíduos sólidos	27
2.3.5.1 Método da Trincheira ou Vala.....	27
2.3.5.2 Método da Rampa	29
2.3.5.3 Método da Área	30
3 METODOLOGIA CIENTÍFICA	31
4 ATERRO SANITÁRIO: A CIDADE DE BOTUCATU	32
4.1 O município de Botucatu	32
4.2 Situação dos RSU na cidade de Botucatu	33
4.3 Aterro Municipal de Botucatu	36
4.3.1 Compactação.....	38

4.3.2 Impermeabilização.....	39
4.3.3 Drenagem de líquidos e gases	39
4.3.4 Plano de Monitoramento	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A incorreta destinação dos resíduos sólidos, é um dos grandes impasses da população ao que se refere ao meio ambiente e saneamento básico, especialmente quando se trata de cidades em desenvolvimento e crescente população, visto que a intensificação do consumo de bens gera um aumento na quantidade de resíduos produzidos. E esses, em caso de destinação inadequada, podem causar contaminação do solo e desperdício de materiais recicláveis, causando prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública.

Apesar do conhecimento acerca do descarte incorreto dos resíduos sólidos, políticas de destinação adequada ainda se veem como um grande empecilho para o governo. A razão dessa dificuldade se deve ao aumento substancial da produção de resíduos nos centros urbanos e despesas referentes a implementação e manutenção de um sistema eficaz de coleta e descarte.

Aterros sanitários incluem princípios de uso para dispor resíduos sólidos em camadas, cobertos com material inerte de padrões operacionais específicos. Devido a isso, danos à saúde pública, segurança e meio ambiente são evitados, pois reduz-se, dessa maneira, a propagação das doenças e contaminação do solo. Os resíduos são compactados e cobertos, prolongando assim a vida útil aterro sanitário (PACHECO, 2012).

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Botucatu, a cidade produz aproximadamente noventa e duas toneladas diárias de resíduos, os mesmos são transportados para o aterro municipal. Entretanto, em uma análise geral, mais de 60% de toda a coleta é composta de resíduos orgânicos que poderiam ser encaminhados para a compostagem e 25% correspondem a resíduos recicláveis secos, apenas 15% são rejeitos pertinentes ao aterro sanitário.

Nos dias atuais, a administração do local é realizada pela Prefeitura de Botucatu, sendo de sua responsabilidade serviços como o controle de vetores e tratamento de líquidos e gases. A coleta convencional de resíduos é executada por uma empresa consorciada e atende 100% da cidade, tanto em áreas rurais como em urbanas.

1.1 Justificativa

A implantação do aterro sanitário é de suma importância, pois tem por finalidade reduzir os riscos de danos ao meio ambiente e à saúde pública, provenientes da gestão incorreta de resíduos.

Um fator a ser considerado para a problemática a respeito do tema é o crescimento exponencial da população, pois essa taxa está diretamente relacionada ao aumento do consumo, o que gera cada vez mais resíduos.

Devido a isso, a preocupação quanto ao manejo desses resíduos apenas aumenta. Como na cidade de Botucatu a coleta desses resíduos não passa por um processo de triagem para separar os rejeitos dos recicláveis, mais de 90% dos resíduos que poderiam ser reciclados estão sendo despejados diretamente no aterro sanitário.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos gerais de aterros sanitários, expor os impactos ambientais causados por lixões, mostrar a situação acerca dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do Município de **BOTUCATU-SP** e indicar determinadas características do Aterro Municipal de Botucatu.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Os resíduos sólidos urbanos

Segundo D’Almeida (2000) apud Junkes (2002), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são diversos resíduos produzidos pelas atividades humanas em aglomerações urbanas. Esse nome inclui resíduos do comércio, indústria, serviços de limpeza pública urbana, instituições médicas, construção civil, estações de ônibus, ferrovias, portos, aeroportos e provenientes do descarte doméstico, entre outros. Soares (2006) define lixo como: “todo material sólido resultante das atividades domiciliares, comerciais e públicas de zonas urbanas e não mais utilizável”.

2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos

• Classificação quanto a sua origem

A Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que abrange a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), em seu Art. 13 classifica os resíduos sólidos quanto à sua origem:

- **Resíduos sólidos urbanos:** englobam os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas e os da limpeza urbana, advindos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
- **Resíduos sólidos industriais:** são aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
- **Resíduos sólidos de serviços de saúde:** gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente no Brasil (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).
- **Resíduos sólidos de construção civil:** são gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil incluída os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

• Classificação quanto à periculosidade

Segundo a ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, os resíduos sólidos também são classificados de acordo com seus potenciais riscos à saúde pública e meio ambiente:

Classe I – Perigosos: Aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, apresentando risco à saúde pública e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

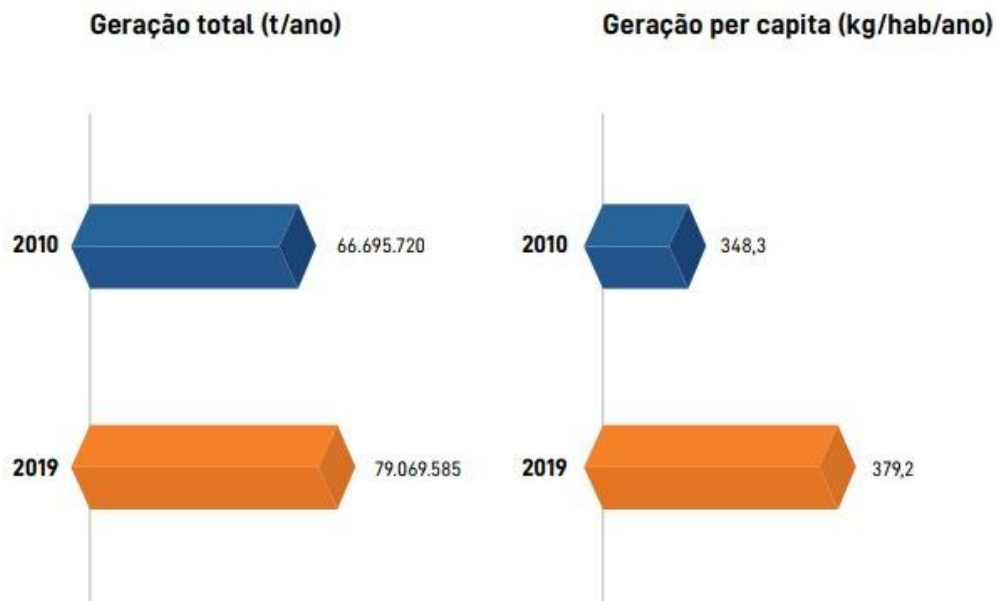
Classe II A – Não perigosos (Não inertes): Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos da classe I (Perigosos) ou de resíduos da classe II B (Inertes). Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Classe II B – Não perigosos (Inertes): Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.1.2 Estimativa de produção de resíduos

De acordo com Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), o índice per capita de geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil passou de 348,3kg/hab/ano no ano de 2010 para 379,2kg/hab/ano em 2019, conforme apresentado no gráfico 1.

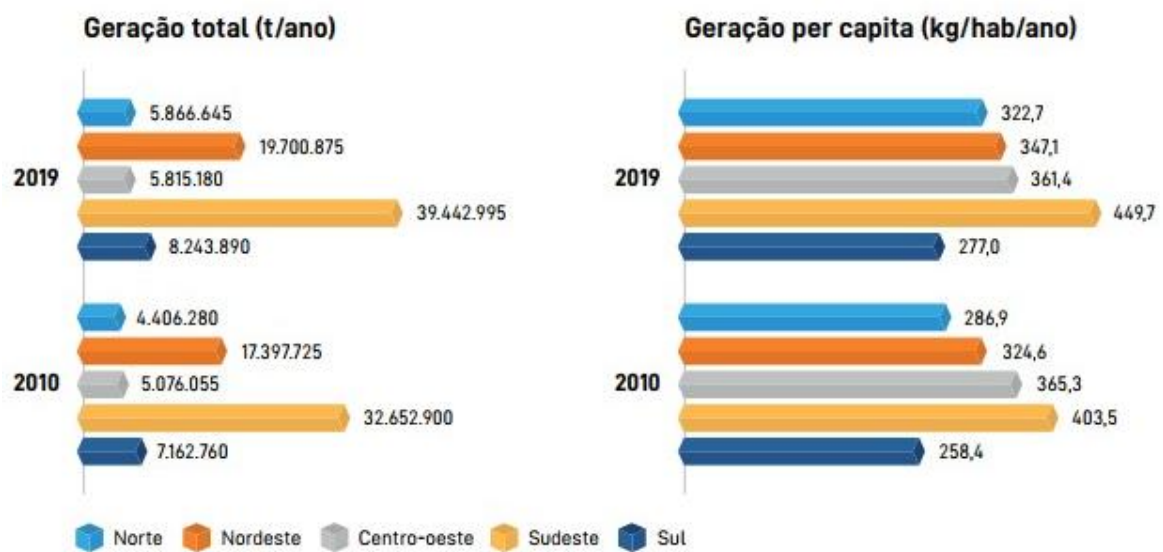
Gráfico 1. Coleta de RSU Per Capita



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2020.

A quantidade de RSU gerados em 2020, de acordo com a tabela 1, aumentou em todas as regiões em comparação ao ano anterior, sendo a região Sudeste a maior produtora de resíduos.

Tabela 1. Quantidade de RSU gerados por regiões e Brasil



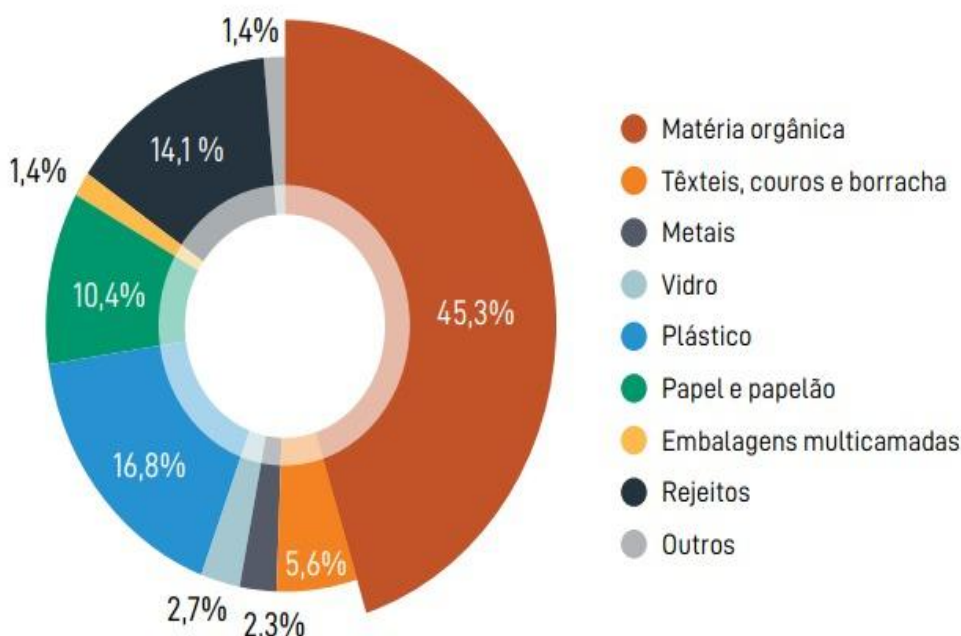
Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2020.

2.1.3 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

No Brasil, a composição do peso médio dos resíduos sólidos urbanos coletados pode variar de região para região, pois está diretamente relacionada às características, hábitos e costumes de consumo e destinação dos moradores locais.

O gráfico a seguir apresenta a composição dos RSU do Brasil:

Gráfico 2. Composição dos RSU



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2020.

2.1.4 Legislação referente aos resíduos sólidos no Brasil

Foi aprovado pelo senado federal no dia 25 de agosto de 2020 a lei 14.026, conhecida como o novo marco legal de saneamento básico, possuindo como objetivo aumentar o índice de acesso ao saneamento básico no Brasil em treze anos, aumentando a cobertura de distribuição de água potável para quase toda a população e de coleta e tratamento do esgoto.

Art 3 da lei 14.026 trata da limpeza e manejo dos resíduos sólidos:

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção das infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana;

No Brasil, devido ao rápido desenvolvimento das cidades, é necessário promover adequadamente a gestão de resíduos sólidos urbanos por meio de métodos alternativos que minimizem os efeitos nocivos dos resíduos sólidos, os quais representam sérios problemas ao ambiente natural e urbano.

2.2 Lixão

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o descarte de lixo a céu aberto sem proteção ambiental ou medidas de saúde pública é uma das características insalubres dos lixões. Neste local não existe um controle sobre a categoria de resíduos e seu local de despejo, deste modo, os resíduos de baixa periculosidade podem entrar em contato com resíduos de alto grau poluidor.

Os lixões, além de possuírem altos riscos de incêndio devido aos gases gerados na decomposição dos resíduos, também estão submetidos a possíveis escorregamentos do maciço e presença de animais. Isso expõe a saúde e segurança de coletores que dependem do lixão para manter sua fonte de renda (Formas de Disposição de Resíduos, 2020).

A figura 1 apresenta um depósito de lixo à céu aberto:

Figura 1. Lixão a céu aberto



Fonte: Senado Federal, 2017.

Os lixões também são depósitos não tratados, a diferença é que são todos institucionalizados, ou seja, autorizados pela prefeitura, por isso ainda existem muitos lixões. No Brasil, esse problema é muito grave, pois cerca de 50% dos municípios armazenam seus resíduos em lixões. Esses sedimentos causam poluição do solo, da

água e do ar devido à combustão espontânea contínua. Grande parte da população não está ciente que, mesmo o que o lixão seja distante de sua moradia fixa, possui um efeito nocivo. Devido ao movimento da água e do ar, a poluição causada pelo lixão pode chegar a vários quilômetros. (Quase metade dos municípios ainda despeja resíduos em lixões, 2020).

O lixão não tem preparo no solo, mas sim uma área para disposição de resíduos sólidos. É inexistente sistemas de tratamento do líquido lixiviado que impeça a infiltração de poluentes no solo e infecção de corpos d'água em solo subterrâneo. Os resíduos permanecem expostos no lixão, e nada pode evitar danos ao meio ambiente e à sociedade associados a ele (GONÇALVES, 2008).

2.2.1 Lei Nacional de Resíduos Sólidos

Em agosto de 2010, foi promulgada a Lei Nacional de Resíduos Sólidos, que proíbe a criação de lixões em locais onde o lixo é lançado a céu aberto e com o prazo para encerramento de lixões, conforme a Lei nº 12.305/10. Os rejeitos devem ter uma disposição final adequada em termos ambientais. Esse prazo é parte das metas dos planos estaduais ou municipais de resíduos sólidos, que devem prever desde a disposição organizada de rejeitos no aterro, a fim de atenuar riscos à saúde pública e segurança e minimizar os impactos ambientais, até a coleta seletiva. Além disso, o município deve estabelecer metas de redução da geração de resíduos sólidos.

Agora a nova lei em vigor determina como prazo 31 de dezembro de 2020, não valendo para os municípios com plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, para esses casos vão variar de agosto de 2021 a agosto de 2024, dependendo da localização e do tamanho do município.

A disposição de resíduos sólidos em lixões é crime desde 1998, quando foi sancionada a lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605/98). A lei prevê, em seu artigo 54, que causar poluição pelo lançamento de resíduos sólidos em desacordo com leis e regulamentos é crime ambiental. Dessa forma, os lixões que se encontram em funcionamento estão em desacordo com as Leis nº 12.305/2010 e 9.605/98.

2.3 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é um local específico que tem por objetivo confinar os resíduos sólidos urbanos nos solos, usando o menor espaço possível e sem causar quaisquer danos à saúde pública e meio ambiente. Diferente dos lixões, onde os resíduos são despejados a céu aberto, em aterros sanitários eles são dispostos de maneira ordenada. A técnica consiste principalmente em compactar todos resíduos no solo em camadas regularmente cobertas por solo e outros materiais inertes.

Embora seja o método sanitário mais simples para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, os aterros requerem atenção especial e seguem técnicas específicas, desde a seleção e preparação da área até sua operação e monitoramento. O resultado da boa operação do aterro é uma instalação que está cumprindo plenamente sua função para manutenção da saúde pública e da qualidade ambiental.

2.3.1 Critérios para a implementação de um Aterro Sanitário

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), para a escolha ideal do terreno para implementação de um aterro, diversos levantamentos são necessários, dentre eles estão os levantamentos climáticos, ecológicos, topográficos e geológicos.

Ministério do Meio Ambiente (op. cit). Os aterros são projetados e implantados de acordo com padrões de engenharia e operados de acordo com padrões específicos, garantindo o controle de resíduos e evitando os inconvenientes do lixão a céu aberto, tais como: emissão de odores; disseminação de portadores de doenças; contaminação do ar, solo, águas superficiais e subterrâneas.

Conforme o autor citado, as etapas necessárias para implantação do aterro sanitário incluem a seleção da área adequada, formulação do projeto de acordo com a legislação e normas técnicas vigentes, licenciamento ambiental, implantação e operação do projeto de licença, monitoramento ambiental durante e após o término da vida útil e fechamento no tempo útil previsto.

Alguns pontos fundamentais devem ser observados na escolha da área:

- o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em período de recorrência de 100 anos – (TR 100 anos);
- entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático, deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado;
- o aterro deve ser instalado em uma área onde haja predominância de material de baixa permeabilidade, com coeficiente de permeabilidade (k) inferior a 5×10^{-5} cm/s;
- o aterro só pode ser construído em área permitida, conforme legislação local de uso do solo;
- deve-se atentar para a proximidade de aeroportos e aeródromos.

Para a implantação, são consideradas vantajosas as áreas que incluem baixa densidade populacional ao seu redor, distância de corpos de águas, baixo custo de terra, proximidade de estradas e baixa probabilidade de poluição das águas superficiais e solo devido ao alto teor de argila.

Referente a proteção ambiental, necessita-se de implantação de sistemas de drenagem pluvial, impermeabilização das superfícies superior e inferior, sistema de detecção de vazamentos, sistema de coleta e tratamento de vazamentos de líquido, cobertura e monitoramento final.

2.3.2 Impermeabilização

“A permeabilidade pode ser definida como sendo a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o grau de permeabilidade expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade (K)”. (GOMES e COSTA, 2016).

De acordo Gomes e Costa (2016), alguns fatores como estrutura do solo, temperatura e grau de saturação permitem que o coeficiente de permeabilidade possua uma grande variação em seu valor. O coeficiente de permeabilidade apresenta valores que alternam desde 10^{-1} m/s para seixos e podendo ser inferior a 10^{-9} m/s para argilas.

A figura abaixo apresenta o coeficiente de permeabilidade dos solos:

Figura 2. Classificação granulométrica segundo o coeficiente de permeabilidade

K (cm/s)	10^2	1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}
SOLO	pedregulhos	areias	areias finas siltsosas e argilosas, siltes argilosos	argilas		

Fonte: Gomes e Costa, 2016.

2.3.2.1 Sistema de impermeabilização de base

Conforme apresentado por Demarco et al (2019), na implantação de aterros sanitários é realizada a impermeabilização inferior ou da base, que compreende na proteção do fundo e laterais da área que recebera resíduos com o intuito de inibir o solo e águas subterrâneas de possíveis contaminações.

De acordo com Lange et al (2008), para a realização da impermeabilização da base, devem ser utilizados solos argilosos com baixa permeabilidade, ou seja, normalmente, inferior a 10^{-7} cm/s, denominados revestimentos minerais – normalmente apresentam espessuras ente 1 e 2 metros. A opção mais utilizada são as geomembranas, também chamadas de revestimentos sintéticos, juntamente com a camada de solo argiloso. A impermeabilização de base deve ter durabilidade e compatibilidade com o líquido a ser isolado.

A instalação da geomembrana responsável pela impermeabilização da base de um aterro sanitário é realizada conforme a figura a seguir:

Figura 3. Impermeabilização de um aterro sanitário com geomembrana



Autor: IGUIECOLOGIA, 2019.

2.3.2.2 Sistema de cobertura

Os aterros também devem contar com a impermeabilização superior, ou seja, o sistema de cobertura, após a conclusão de operação de aterramento, na medida em que esta ação impede alguns impasses como a passagem da água da chuva através das massas de resíduos e o distanciamento de vetores dos resíduos.

De acordo Reichert (2007) apud Santos e Silva (2018), a cobertura final do aterro deverá possuir uma espessura de 60 centímetros de argila compactada, chegando a uma permeabilidade de 10^{-5} cm/s. No caso da utilização do camada composta constituída por argila e pela geomembrana é essencial que abaixo dessas seja adicionado um dreno horizontal de biogás, que apresente espessura de 15 a 20 cm. De acordo com Lange et al. (2008), além da cobertura final apresentar uma camada 60 cm de argila compactada, também deve-se incluir em média de 20 cm de solo na cobertura.

2.3.3 Sistemas de Drenagem

O sistema de drenagem possui um grande impacto no funcionamento eficiente do aterro, pois tem por objetivo evitar a contaminação das águas e do solo causada por substâncias liberadas no processo da decomposição da matéria orgânica.

2.3.3.1 Drenagem do Líquido Lixiviado

Segundo Lange et al (2008), o lixiviado, também conhecido como líquido percolado, é produto da umidade do sistema juntamente a decomposição da matéria orgânica (chorume) e deve ser drenado por sistemas específicos. Trata-se de um líquido com alta concentração de compostos orgânicos, grupos microbianos e metais pesados. Devido a isso, o lixiviado pode contaminar águas superficiais e subterrâneas e transmitir doenças como Hepatite A para a população.

O sistema de drenagem do lixiviado diminui a pressão do líquido na massa dos resíduos e garante sua estabilidade, além de atenuar infiltrações no subsolo (BOSCOV, 2008).

Nos sistemas apresentados a seguir, o lixiviado deslocasse por gravidade para áreas de acúmulo, desta forma, torna se obsoleta o uso de bombas. Atualmente, são utilizados dois sistemas distintos de drenagem de lixiviado, conforme a tabela a seguir:

Tabela 2. Sistemas de drenagem do lixiviado

Sistemas	Configuração	Materiais	Vantagens	Desvantagens
Colchão drenante	 Colchão drenante de brita Espera dreno de gás Fonte: RECHERT, 2007	Pedras de mão ou brita	Maior eficiência	Maior custo
Espinha de peixe		Pedras de mão ou brita	Menor custo	Menos eficiência

Fonte: RS POMA, 2018.

O sistema de drenagem de colchão drenante é considerado o sistema mais eficiente, entretanto seu custo é elevado, por esse motivo se torna a opção menos utilizada. Santos e Silva (2018) afirma que o sistema de espinha de peixe, devido ao seu baixo custo, atualmente, é o método mais adotado em aterros de resíduos. Neste sistema de drenagem, valas com brita (dreno cego) ou tubos perfurados podem ser utilizados. Para o uso dos tubos especificações técnicas necessitam ser avaliadas, pois estarão expostos a fatores como a movimentação das máquinas, a compactação dos resíduos, elevadas temperaturas e o contato com reagentes do lixiviado durante a operação do aterro.

Recomenda-se a instalação dos tubos de drenagem a uma declividade de 1 a 2%, podendo variar sua disposição conforme a topografia e geometria do aterro. Conforme a figura 4, o sistema de drenagem espinha de peixe é constituído pelos drenos centrais e secundários. Os drenos secundários apenas conduzem o lixiviado para o dreno central que, por sua vez, o recebe e encaminha para o sistema de tratamento (Santos e Silva, 2018).

A figura a seguir apresenta o sistema de espinha de peixe de um aterro:

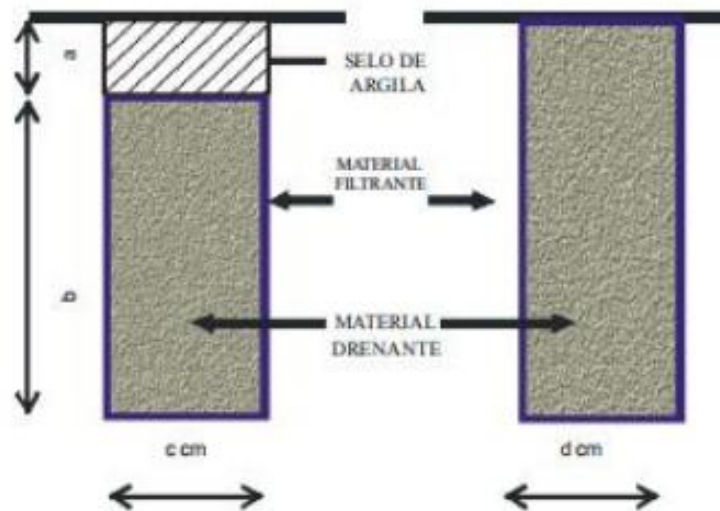
Figura 4. Drenagem em "espinha de peixe" de um aterro



Fonte: GAZETA ITAPIRENSE, 2020.

Na instalação dos drenos cegos (figura 5) há um preenchimento das canaletas com brita 1 na camada superior e brita 2 na camada inferior.

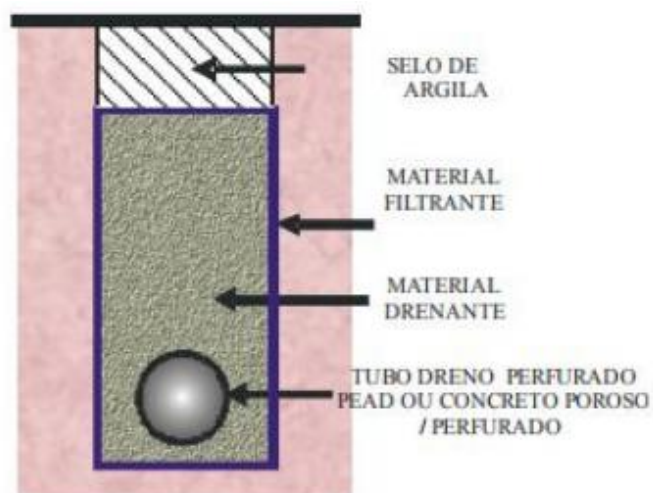
Figura 5. Dreno cego



Fonte: GOINFRA-GO, 2019.

É posta uma camada de brita em torno do tubo para instalar o dreno tubular, auxiliando, assim, na acomodação do mesmo e na drenagem do lixiviado, conforme a figura:

Figura 6. Dreno tubular



Fonte: GOINFRA-GO, 2019.

2.3.3.1.1 Vazão do Lixiviado

A vazão de lixiviados de um aterro sanitário é determinada pelo volume de águas pluviais infiltradas na massa de resíduos. Existem diversos métodos na literatura para encontrar a vazão do lixiviado, entretanto necessitam de dados climatológicos específicos, diferentemente do Método Suíço apresentada por Rocca et al. (1979), a fórmula apresentada é calculada com dados da área do aterro, da precipitação anual e do grau de compactação dos resíduos.

$$Q = 1/t \cdot P \cdot A \cdot K$$

Na qual:

Q = vazão média do lixiviado (L/s);

P = precipitação média anual (mm);

A = área do aterro (m²);

t = número de segundos em um ano (s);

K = coeficiente do grau de compactação dos resíduos (adimensional).

A tabela abaixo apresenta o coeficiente do grau de compactação:

Tabela 3. Volume dos resíduos sólidos

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

Fonte: Rocca, 1981.

2.3.3.1.2 Tratamento do Lixiviado

Como mencionado por Contrera (2008), a caracterização do lixiviado pode se alterar devido a fatores como o local, as estações e a composição dos resíduos, devido a isso, pode-se observar alterações em sua vazão, composição química e concentração. Para acompanhar essas constantes mudanças o sistema de lixiviado do aterro ser flexível quanto a sua operação.

No tratamento do lixiviado dos aterros sanitários pode-se utilizar, também, os sistemas de tratamento de esgotos doméstico. Ademais, existem diversos tipos de tratamento do lixiviado, dentre eles: tratamentos físico químicos (floculação, filtração, coagulação, carvão ativado), biológicos (lodos ativados, lagoas, biodiscos, digestão anaeróbia) e alternativos (recirculação, aplicação no solo, combinação com águas residuais) (DAMARCO ET AL, 2019).

2.3.3.2 Drenagem de águas pluviais

A função do sistema de drenagem de águas pluviais é inibir a infiltração de águas da chuva no aterro, reduzindo, assim, a produção de líquidos lixiviados e o escoamento superficial, pois isto pode danificar a estrutura, ocasionando erosões nos taludes do aterro e prejudicar seu funcionamento.

O sistema de drenagem de águas pluviais tem como função obstruir a passagem da água da chuva, a fim de evitar que o escoamento chegue aos líquidos percolados, desta forma, a água coletada pelo sistema pode ser lançada sem tratamento ao meio ambiente (LANGE et al, 2008).

Na drenagem de águas pluviais deve-se definir o caimento e posições das estruturas, levando em consideração o projeto geométrico do aterro, a fim de garantir um bom escoamento das águas (LANGE et al, 2008).

Na figura a seguir estão indicadas as canaletas de captação das águas pluviais.

Figura 7. Canaletas de captação das águas pluviais



Fonte: BRENCORP (modificada), 2010.

2.3.3.3 Drenagem de Gases

De acordo com Lange et al (2008), o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), gases liberados pelo processo de decomposição da matéria orgânica, devem ser devidamente tratados, pois se liberados para a atmosfera sem cuidados específicos contribuem para a intensificação do efeito estufa. Esses gases são retirados do aterro por meio de drenos verticais ou horizontais, sendo os verticais mais utilizados, posto que, em tal caso, são justapostos com os drenos horizontais de líquidos lixiviados.

“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. “ (LANGE et al, 2008).

Na figura 8 pode-se observar a construção dos drenos verticais de gases.

Figura 8. Sistema de drenagem de gases



FONTE: Prefeitura Municipal de Votorantim, 2017.

O tratamento do biogás se inicia após a drenagem, ou seja, ele é queimado com o propósito de evitar a poluição atmosférica – este atualmente é o método mais utilizado. Entretanto, este gás também pode ser utilizado para a produzir de energia elétrica.

Caso o aterro sanitário não possua rede de drenagem para promover a emissão controlada do biogás, microfissuras na matriz rochosa e penetração do gás nos poros do solo podem ocorrer. Como resultado disso, o biogás se acumula em bolsões, gerando, desta forma, potenciais explosões (Ministério do Meio Ambiente, 2018).

2.3.4 Tempo de vida útil de um aterro sanitário

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009) normalmente um aterro sanitário é planejado para acolher todos os resíduos de uma sociedade formada de um ou mais municípios para um prazo (vida útil) de pelo menos 20 anos.

O plano de monitoramento do aterro deve ser feito tanto durante a operação quanto após o encerramento de suas atividades, com o intuito de preservar o meio ambiente, sendo o sistema composto de monitoramento ambiental e geotécnico.

Monitoramento Ambiental:

Deve ser realizado de forma que atenda aos órgãos de controle ambiental e à legislação vigente:

- controle das águas superficiais através de análises físico-químicas e bacteriológicas em pontos determinados tecnicamente, a montante e a jusante do aterro;
- monitoramento das águas subterrâneas – instalação de poços, a montante e a jusante no sentido do fluxo do escoamento preferencial do lençol freático;
- estação pluviométrica – grandes aterros;
- controle da qualidade do líquido lixiviado após o tratamento, através de análises físico-químicas para caracterização do líquido lixiviado;
- controle da descarga de líquidos lixiviados no sistema de tratamento.

Monitoramento Geotécnico:

- inspeção visual – indícios de erosão, trincas e fissuras na camada de cobertura ou qualquer outro sinal do movimento da massa de resíduos;
- deslocamentos verticais e horizontais para monitorar a ocorrência de recalques – marcos superficiais e inclinômetro;
- medidas de pressões de gases e líquidos no interior do maciço – piezômetros.

Mesmo com a operação fechada, o gás e o lixiviado continuarão sendo produzidos por, pelo menos, 15 anos. Portanto, não é recomendado utilizar o terreno para outras atividades como, por exemplo a construção de edifícios.

Embora seja, este o destino mais comum para os resíduos, a vida útil dos aterros sanitários é limitada. O tempo máximo de funcionamento de um aterro deve ser analisados pelo projeto e pode variar conforme sua operação.

2.3.5 Métodos construtivos para disposição final dos resíduos sólidos

Para escolher o método construtivo, é necessário obter alguns dados do canteiro de obras do aterro, pois o método escolhido deve ser o mais adequado às características do solo. Entre os métodos de construção de aterro mais comumente usados, estão: o método de trincheira ou vala, o método de rampa e o método de área.

2.3.5.1 Método da Trincheira ou Vala

É geralmente usado em áreas planas ou ligeiramente inclinadas com níveis subterrâneos profundos. Sua tecnologia consiste em valas ou trincheiras escavadas de diversos tamanhos e no seu preenchimento conforme a quantidade de resíduos adicionados, para que os equipamentos utilizados para a aterragem possam operar normalmente. O tamanho das valas define o equipamento, o tipo de material a ser usado e o método de construção. Os resíduos podem ser compactados manualmente ou mecanicamente de acordo com os requisitos do local. Aterros em trincheiras são geralmente aplicados em pequenas cidades, pois podem ser executados manualmente, entretanto o custo é alto devido à escavação de grandes valas. (LANGE et al., 2008).

Esse tipo de aterro requer a escavação de grandes valas e pode ser usado em situações específicas, como as listadas abaixo:

- Caso possua necessidade da mobilização de um excesso de solo;
- Quando não possui intenção de alterar a topografia atual do terreno;
- Caso se deseja construir diversas camadas de resíduos sobre as valas executadas;

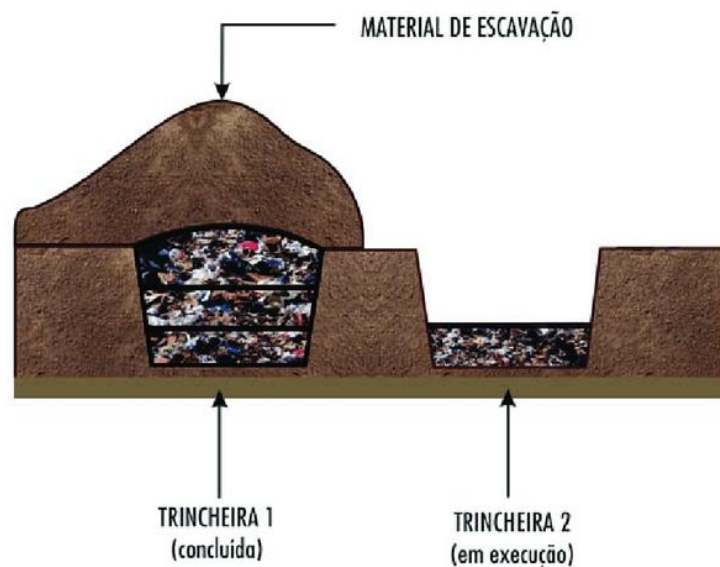
- Quando seja necessário inserir resíduos especiais no aterro, devido ao seu estado físico, sua composição química ou biológica ou por apresentarem perigos a saúde e ao ambiente.

Conforme apresentado por Carmo (2012), as trincheiras podem ser grandes ou pequenas. A operação das de grande escala é como um aterro sanitário tradicional. Após a compactação dos resíduos, eles são recobertos por uma fina camada de solo, geralmente, nesta camada, o solo retirado durante a escavação da vala é reaproveitado. Depois que a aplicação da camada for concluída, a trincheira e o terreno serão restaurados ao seu terreno original.

Segundo o autor as valas de pequenas dimensões, são construídas em pequenos municípios, pois são necessários pouco recursos financeiros para a execução e realização de aterros sanitários desta modalidade, e a pouca necessidade de equipamentos para a sua construção contribui para o emprego deste método.

O método construtivo de vala para aterros sanitários está representado na figura abaixo:

Figura 9. Método de Vala



Fonte: José Dantas de Lima, 2003.

É importante enfatizar que a escavação de valas também requer condições favoráveis quanto à profundidade do lençol freático e ao tipo de solo local, pois o

terreno com lençol freático muito próximo ao solo não é adequado para a construção do aterro, o terreno possui escavação dificultosa e as rochas não são marcadas.

2.3.5.2 Método da Rampa

De acordo com Carmo (2012), quando o terreno a ser implantado no aterro apresenta relevo irregular, ele pode ser modificado por meio de terraplenagem. O método é realizado em área de meia encosta, onde o solo apresenta condições de escavação e é adequado para cobertura de taludes. Os resíduos são descartados no fundo da fenda existente e, em seguida, compactados por um trator de esteira. O método gradiente deve ser utilizado na camada de lixo, e várias camadas devem ser adicionadas, o que fará com que o lixo suba de forma prismática.

Inclui aterros efetuados em taludes naturais ou arquitetônicos, nos quais os resíduos são depositados e compactados no talude de acordo com a declividade do local, sendo realizada a cobertura necessária ao final de cada etapa de construção até que a célula em construção chegue ao topo da encosta superior e lateral (LANGE et al. 2008).

O método em pauta é estruturado da seguinte forma:

Figura 10. Método de Rampa



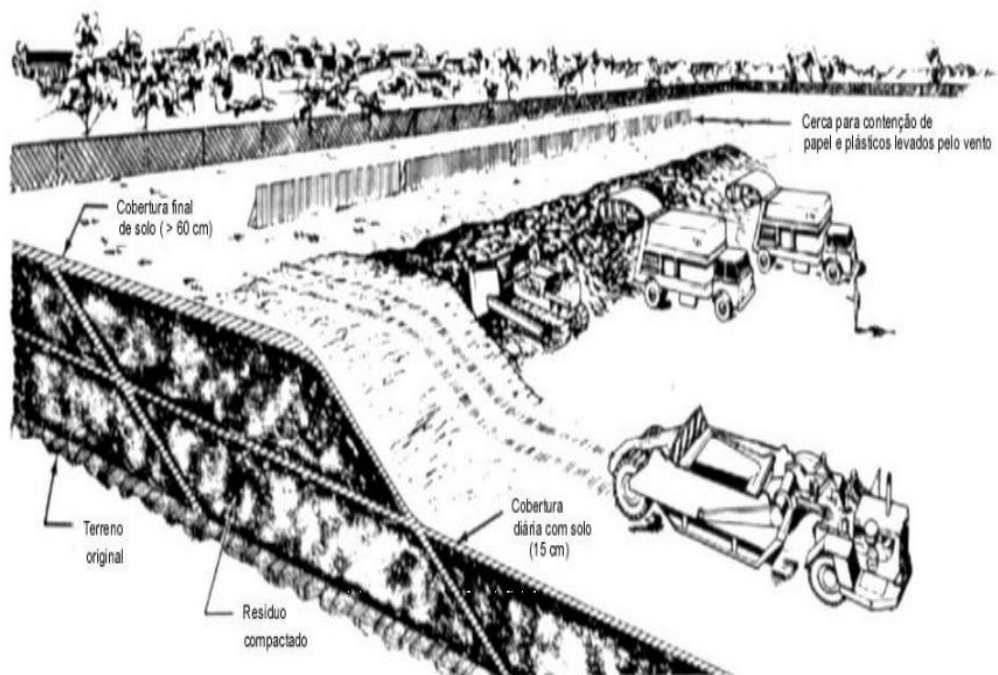
Fonte: DRAETA, 2014.

2.3.5.3 Método da Área

De acordo Carmo (2012), neste método, o aterro geralmente é construído em um terreno plano com o nível do lençol freático apenas a alguns metros abaixo do solo. Primeiro, os resíduos são colocados no local planejado do terreno e, em seguida, são combinados e compactados em uma elevação em forma de pirâmide e, finalmente, coberto com solo.

A cada camada disposta no terreno observasse uma formação semelhante a de pirâmide ou tronco, conforme a figura a seguir:

Figura 11. Método de Área



Fonte: Aterro sanitário, 2021.

3 METODOLOGIA CIENTÍFICA

O estudo desenvolvido trata-se de uma pesquisa descritiva, de caráter qualitativo, a qual buscou compreender e examinar as características do aterro sanitário. Foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de apresentar o aterro sanitário como método de disposição final de resíduos e seus aspectos.

Realizou-se, portanto, um levantamento de pesquisas na Scielo e Google Acadêmico, no qual foi utilizado como título da pesquisa: “aterro sanitário”, “lixão e seus impactos ambientais” e “resíduos sólidos urbanos”, o idioma foi aplicado como um dos critérios de exclusão, visto que apenas publicações em português foram incluídas no estudo. Para análise inicial, foi feita uma leitura flutuante das publicações afim de selecionar os trabalhos que atendiam o objetivo do presente trabalho.

Posteriormente, foi feito o contato com a Prefeitura Municipal de Botucatu, atual responsável pela administração do aterro sanitário, com o propósito de efetuar uma visita técnica ao local. Devido a visita e auxílio do engenheiro contatado da prefeitura, foi possível obter dados e imagens do aterro sanitário que contribuíram para a composição do trabalho.

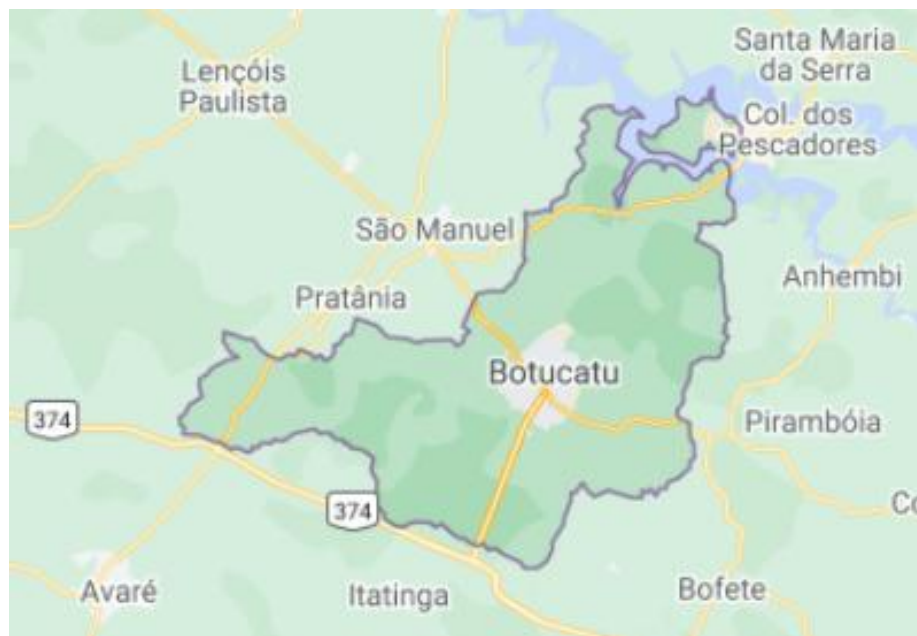
A visita técnica ao local possibilitou a identificação de dados referentes aos drenos utilizados, o tipo de impermeabilização adotada para o aterro, o funcionamento da pesagem dos resíduos e sua compactação, o monitoramento das águas subterrâneas, o tratamento de líquido e gases e as atividades gerais necessárias para a manutenção do Aterro Municipal de Botucatu. Algumas imagens do local foram registradas afim de apresentar visualmente suas características.

4 ATERRO SANITÁRIO: A CIDADE DE BOTUCATU

4.1 O município de Botucatu

O município de Botucatu está localizado no centro do estado de São Paulo, a cerca de 235 km da capital. Sua área de 1.482,642 km² e faz limites com os municípios de Anhembi, Bofete, Pardinho, Itatinga, Avaré, Pratânia, São Manuel, Dois Córregos e Santa Maria da Serra. No censo de 2020, Botucatu tem atualmente 148.130 habitantes.

Figura 12. Município de Botucatu

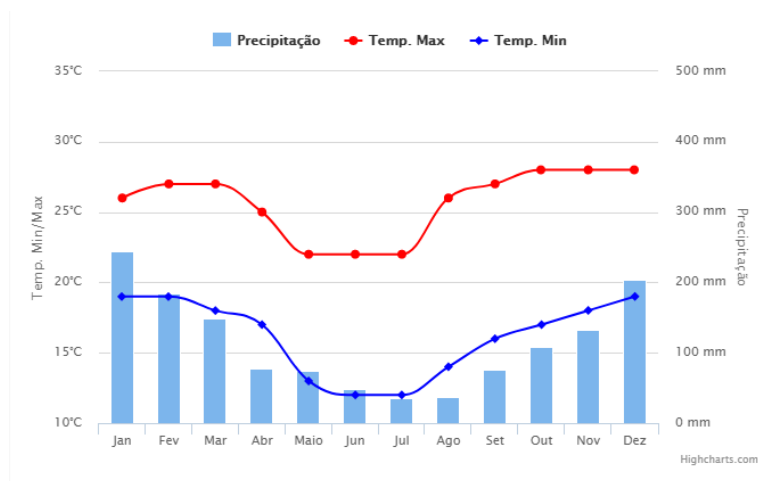


FONTE: Google Maps, 2020.

Como mencionado anteriormente, a precipitação influencia diretamente na produção de líquido percolado, proveniente da decomposição dos resíduos e das águas infiltradas. Devido a isso, deve-se analisar dados referentes a precipitação da cidade em que está situado o aterro estudado (gráfico 3).

Nos meses em que a precipitação está acima da média o recobrimento dos resíduos fica pendente até que haja diminuição da frequência de chuvas.

Gráfico 3: Precipitação da cidade de Botucatu



Fonte: CLIMATEMPO (2020)

4.2 Situação dos RSU na cidade de Botucatu

Atualmente, a cidade de Botucatu produz cerca de 92 toneladas de resíduos por dia, que se caracteriza pela diversidade de atividades dos moradores urbanos e rurais. O montante é gerado por residências, empresas, indústrias, cemitérios, limpeza pública, etc.

Todos os resíduos produzidos pela população são encaminhados para aterro, equipado com balanças para pesagem de caminhões. Por meio desse equipamento, é possível calcular a quantidade de resíduos gerados.

Segundo estatísticas da CETESB - Corporação Estadual do Meio Ambiente de São Paulo, a população do Estado de São Paulo é de 43.663.669 (Censo IBGE 2010) e gera cerca de 26.340 toneladas de lixo doméstico por dia, o que equivale a uma produção per capita de 0,603 kg/habitante/dia. Fazendo o mesmo cálculo para o município de Botucatu, verificamos que a geração de resíduo per capita é de 0,660 kg/habitante/dia, um pouco superior à média estadual.

De acordo com o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, a empresa ENGECORPS realizou trabalhos de amostragem para caracterização de resíduos gerados no municipal de Botucatu.

A tabela a seguir apresenta a composição gravimétrica de Botucatu:

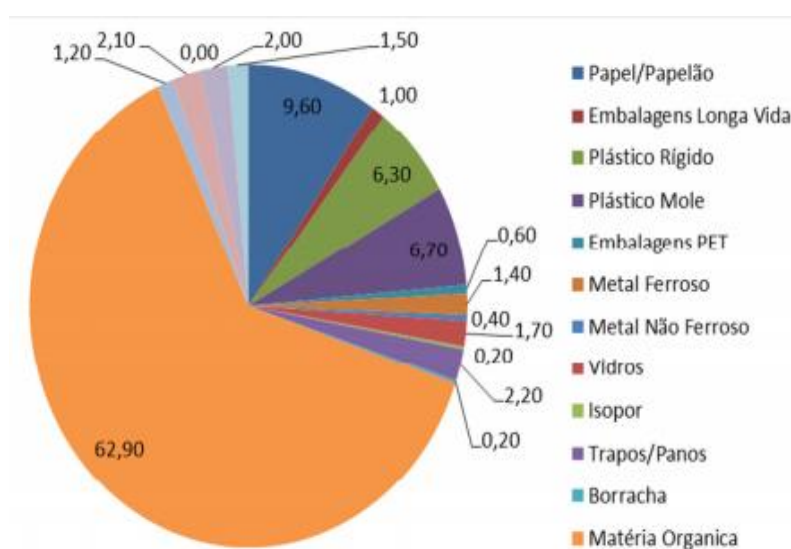
Tabela 4. Composição gravimétrica dos RSD da cidade de Botucatu

COMPONENTES	COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA (%)
Papel/papelão	9,60%
Embalagens longa vida	1,00%
Plástico rígido	6,30%
Plástico mole	6,70%
Embalagens PET	0,60%
Metal ferroso	1,40%
Metal não ferroso	0,40%
Vidros	1,70%
Isopor	0,20%
Trapos/panos	2,20%
Borracha	0,20%
Matéria orgânica	62,90%
Madeira	1,20%
Terra/pedras	2,10%
Pilhas/baterias	0,00%
Diversos	1,50%
TOTAL	100,00%

Fonte: Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Botucatu / SP, 2014.

O gráfico 4 foi elaborado conforme as informações presentes na tabela 4:

Gráfico 4. Composição gravimétrica dos RSD



Fonte: Gráfico elaborado a partir dos dados da tabela 4.

De acordo com Chmielewska (2020), no total de resíduos gerados por dia em Botucatu (em torno de 3.000 toneladas por mês), cerca de 95% deles vão para aterros sanitários, excluindo meios de reciclagem ou reaproveitamento.

- Próximo de 60% são resíduos orgânicos adeptos a compostagem;
- Aproximadamente 25% corresponde aos resíduos recicláveis secos, que seriam de maior aproveitamento se encaminhados para cooperativas e associações de catadores;
- Somente 15% são rejeitos, e apenas esta parcela deveria ir ter como destino final o Aterro Sanitário Municipal.

Em relação aos resíduos orgânicos, a taxa de recuperação é menor. A prefeitura não oferece coleta seletiva de produtos orgânicos, esse serviço é prestado somente pelo ciclo limpo, devendo ser do cidadão a opção de participar do sistema de coleta. Em torno de 60% dos resíduos sólidos gerados na cidade são resíduos orgânicos que poderiam ser compostados ao invés de serem aterrados, e mais de 15 toneladas de compostos orgânicos poderiam ser produzidos todos os dias.

O ciclo limpo tem por finalidade oferecer uma destinação correta e sustentável de alguns resíduos que iriam ser dispostos no aterro. É realizada a coleta e compostagem dos resíduos orgânicos, transformando-os em adubo.

De acordo com o Departamento de Limpeza Pública da Prefeitura Municipal de Botucatu, a coleta convencional atende 100% da cidade. Já a coleta seletiva, que consiste no sistema de recolha de materiais recicláveis, é realizada através de um caminhão cedido pela Prefeitura em parceria com a Cooperativa de Agentes Ambientais.

Conforme a CETESB, Botucatu maneja adequadamente seus resíduos sólidos e foi bem avaliada com uma nota de 9,5, num total de 10. O secretário Marcio Piedade destacou que todos os resíduos são cobertos com terra e compactados, além de existir um controle de lixiviado adequado e tanque para coleta e descarte adequado desse material altamente poluente.

4.3 Aterro Municipal de Botucatu

Até o ano de 1994, o município de Botucatu depositava seus resíduos sólidos em um lixão numa área situada no Bairro Vila Real. Atualmente, todos os resíduos sólidos coletados na área rural e urbana do município de Botucatu são destinados ao Aterro Sanitário Municipal, localizado na Rodovia Eduardo Zucari, Km 2,5, área pertencente à Bacia Hidrográfica do Paranapanema, com acesso pela Rodovia João Hipólito Martins com uma distância de 14 Km do centro urbano.

O Aterro de Botucatu apresenta um solo de areia argilosa laterítica, ou seja, possui baixo coeficiente de permeabilidade proporcionando uma melhor impermeabilização do aterro sanitário e contribuindo, desta forma, para evitar a contaminação das águas subterrâneas pelo lixiviado.

O aterro possui licença de operação emitida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, e no ano de 2014 passou por um processo de ampliação devido a limitação de sua capacidade. Atualmente, o local é dividido em: áreas em operação e implantação, áreas encerradas e áreas de outros usos, como vias internas e áreas verdes.

No ano de 2014, de acordo com o Plano Municipal de Botucatu, a administração do aterro sanitário foi terceirizada por meio do processo licitatório para a contratação de uma empresa especializada na implantação e execução de um novo SILU (Sistema Integrado de Limpeza Pública). Entretanto, atualmente, passou a ser responsabilidade do Prefeitura de Botucatu implantar ampliações, operar, manter e monitorar o Aterro Sanitário.

Dentre os serviços executados pela prefeitura estão: serviços de topografia, controle tecnológico, movimentação de terra, sistema de impermeabilização das células e da bacia de chorume, sistema de tratamento de líquidos, controle de vetores, engenharia consultiva, controles gerenciais, cercamento, vigilância, limpeza do terreno, acessos e pátios de descarga de resíduos, descarga, espalhamento, compactação e cobertura dos resíduos, implantação do sistema de drenagem de percolados no interior do maciço, implantação de sistema de drenagem de águas superficiais, implantação de drenos, construção de valas de canalização, entre outros.

Figura 13. Aterro Sanitário de Botucatu



Fonte: Autor, 2021.

Na chegada ao aterro, o caminhão carregado de resíduos é pesado por uma balança (figura 14) antes de despejá-los na célula, o veículo passa novamente pela pesagem no retorno, a fim de dimensionar a quantidade de resíduos recebida pelo aterro. São recebidas cerca de 92 toneladas de resíduos por dia, coletados na coleta convencional.

Figura 14. Balança de pesagem do caminhão



Fonte: Autor, 2021.

4.3.1 Compactação

Conforme Marques (2001), a compactação dos resíduos possui por finalidade diminuir o volume da massa de resíduos encontrados no aterro, contribuindo, desta forma, para uma maior utilização do espaço delimitado para a aterramento, aumento da vida útil do aterro e estabilidade na massa dos resíduos.

Inicia-se, portanto, compactando dos resíduos no veículo de coleta, facilitando, assim, a inclusão de mais resíduos no caminhão durante o processo. Após o despejo dos resíduos no aterro, ocorre o espalhamento e compactação dos mesmos com tratores específicos. Após a compactação dos resíduos é adicionada uma camada de cobertura do solo retirado nas proximidades do aterro. A cobertura diária evita a presença de vetores, propagação de maus odores, entre outros. O volume da massa de resíduos no aterro de Botucatu é compactado até que chegue a um volume de em média 850 kg/m³.

Figura 15. Veículos de compactação



Figura 16. Caminhão de coleta convencional



Figura 18. Terra para compactação



Figura 17. Espalhamento de resíduos



4.3.2 Impermeabilização

A impermeabilização de base do aterro de Botucatu é constituída por uma geomembrana de Polietileno de Alta Densidade, com espessura em média de 2mm, acima desta possui uma camada de solo, afim de proteger a geomembrana.

4.3.3 Drenagem de líquidos e gases

Após a impermeabilização do aterro, foram instalados os drenos de base, com o propósito de estabelecer um sistema eficaz de drenagem no aterro. Na drenagem de gases foi atribuído o dreno vertical, conforme a figura 19.

Figura 19. Dreno vertical de gás



Fonte: Autor, 2021.

Para a drenagem do lixiviado do aterro foi utilizado drenos horizontais constituídos com brita 4. Os drenos transportam o líquido até a lagoa de captação, onde são encaminhados a uma estação de tratamento. A vazão do lixiviado varia em torno de 0,5 l/s, segundo dados emitidos pelo engenheiro responsável pela visita técnica ao aterro.

A figura 20 apresenta a lagoa de acumulação do líquido lixiviado do Aterro Sanitário de Botucatu, onde o líquido nela presente é encaminhado para uma rede de tratamento.

Figura 20. Lagoa de acumulação do chorume



Fonte: Autor, 2021.

4.3.4 Plano de Monitoramento

O aterro de Botucatu possui quatro poços de monitoramento instalados, sendo três a jusantes e um a montante, onde são coletadas amostras de águas para análise físico-química. Conforme a legislação vigente, os serviços monitoramento do efluente (chorume) emitem laudos e relatórios finais das amostras coletadas em pontos definidos no aterro sanitário.

É medido mês a mês o deslocamento em marcos verticais e horizontais, deste modo é possível perceber a ocorrência de recalques acima do convencional. Entretanto este fenômeno é considerado comum em determinados valores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do trabalho apresentado foi possível compreender as formas de descarte de resíduos sólidos, como aterros e suas modalidades, método de vala, de rampa e de área, o lixão e os impactos causados ao meio ambiente. A escolha do terreno para a implementação do aterro sanitário deve considerar estudos técnicos que apresentarão as futuras consequências para tipo cada terreno, levando em consideração as características específicas de cada local.

Foi analisado que a produção média per capita de resíduos gerados pelo município de Botucatu equivale a 0,660kg/hab/dia, enquanto a média estadual se mantém em torno de 0,603kg/hab/dia. Observou-se que das 92 toneladas de resíduos gerados diariamente, 85% poderiam ser reciclados, sendo resíduos orgânicos e resíduos recicláveis secos, como papelão, plásticos, embalagens pet, que caso fossem reciclados aumentariam consideravelmente a vida útil do aterro sanitário.

O aterro sanitário da cidade de Botucatu recebeu nota 9,7 da CETESB em 2016 e 2017 e dispõem de um controle para o lixiviado e um tanque para a coleta e descarte adequado deste material altamente poluente, evitando, desta forma, contaminações no solo e nas águas.

Se caso houvesse a implementação de um sistema capaz de realizar uma triagem de todo o resíduo, o benefício corresponderia a uma redução de resíduos dispostos no aterro sanitário, aumentando, assim, a vida útil do mesmo. Para que o sistema possua uma alta efetividade, o poder público juntamente com população devem contribuir para o processo, como cada cidadão separar os seus resíduos corretamente para que a prefeitura possa coletá-los conforme sua categoria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – **ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS**. Resíduos Sólidos – Classificação. NBR 10004. 2004 Disponível em< <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em nov de 2020.

Aterro Sanitário, **Definições**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/aterro-sanitario/>>. Acesso em: 02 Nov. 2020.

ATERRO SANITÁRIO. **Aterro Controlado**. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/aterro-sanitario>>. Acesso em: 03 Nov. 2020.

BOSCOV, M. E. G.. Difusão de metais através de uma argila laterítica compactada. 2008, CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

BRASIL. DECRETO Nº 6.514, DE 22 DE JULHO DE 2008. **DAS INFRAÇÕES E SANÇÕES ADMINISTRATIVAS AO MEIO AMBIENTE**. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm>. Acesso em nov de 2020.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Disponível em< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm. Acesso em nov de 2020.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em nov de 2020.

BRASIL. LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. **Novo marco regulatório do saneamento básico**. Disponível em <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em nov de 2020.

CARMO, G, N. R. Aterro Sanitário: **Rotina de Operação do aterro**. Disponível em: <www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/AS-_Aula-9.pdf> Acesso em: 03 Nov. 2020.

Como funciona o aterro sanitário, **Entenda o funcionamento do aterro.** Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-funciona-o-aterro-sanitario/>>. Acesso em: 01 Nov. 2020.

Contrera R, C. Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada sequencial, 2008, São Carlos

DRAETA, P. Reciclagem no Brasil: O que é Aterro Sanitário e como funciona. 2018.

FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, **CONFIGURAÇÃO.** Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res12.html>>. Acesso em: 05 Nov. 2020.

FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, **Disposição de Resíduos.** Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res12.html>>. Acesso em: 03 Nov. 2020.

GOINFRA-GO DRENAGEM – DRENOS SUBTERRÂNEOS. Disponível em: http://www.goinfra.go.gov.br/arquivos/arquivos/Drenagem/03_DRENAGEM_DRENO_S_SUBTERR%C3%82N.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2020.

GOMES T. A. T, COSTA. K.S. **ESTUDO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE EM ENSAIOS DE POÇO PELO PADRÃO ABGE: COMPLEXO ALCALINO CARBONATÍTICO DO BARREIRO (CACB),** ARAXÁ-MG, 2016, XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas

GONÇALVES. FERNANDO. SOUSA. **IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO DESCARTE FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DE PIRANHAS - PB,** 2015. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

IGUIECOLOGIA Aterro 2019. Disponível em: < <https://www.iguiecologia.com/diferenca-entre-lixao-e-aterro-sanitario/aterro-foto-alagoas24horas/> >. Acesso em: 02 fev. 2020.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte.** Florianópolis: 2002. 116f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte**. Florianópolis: 2002. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

LANGE, L. C et al. **Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. Disponível em: <http://www.dec.uem.br/mbr/Saneamento%20IV/aterro/aterro_sanitario.pdf>. Acesso em: 02 Fev. 2021.

MARQUES, A. C. M Compactação e compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos, 2001. Escola de Engenharia de São Carlos

Mesmo com sua extinção determinada por lei, lixões persistem como problema ambiental, **Atentado ambiental**. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/noticia/mesmo-com-sua-extincao-determinada-por-lei-lixoes-persistem-como-problema-ambiental>>. Acesso em: 02 Nov. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário: Composição do Biogás de Aterro. Disponível em: Acesso em 03 fev. 2021.

O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/3705-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs.html>>. Acesso em: 01 Nov. 2020.

Os critérios para a implantação de Aterros Sanitários, **E a importância destes na destinação do lixo**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2016/07/14/os-criterios-para-a-implantacao-de-aterros-sanitarios/#:~:text=Dentre%20as%20caracter%C3%ADsticas%20favor%C3%A1veis%20de,subterr%C3%A2neas%20e%20um%20subsolo%20com>>. Acesso em: 03 Nov. 2020.

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

PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil, **PANORAMA 2017**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 03 Nov. 2020.

Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais: **Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários** / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA, 2009. 67p.

Qual é o tempo de vida útil ideal de um aterro sanitário, **Conheça as normas válidas para os aterros**. Disponível em: < <https://www.vgresiduos.com.br/blog/qual-e-o-tempo-de-vida-util-ideal-de-um-aterro-sanitario/#:~:text=Normalmente%2C%20a%20vida%20%C3%BAtil%20ideal,chegam%20a%20durar%20esse%20tempo.>>. Acesso em: 02 Nov. 2020.

Quase metade dos municípios ainda despeja resíduos em lixões, **Brasil tem alto índice de destinação incorreta do lixo**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-08/quase-metade-dos-municipios-ainda-despeja-residuos-em-lixoes>>. Acesso em: 15 Nov. 2020

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA DISPOSIÇÃO DE “LIXÕES”, **Impactos Ambientais Causados pelos Lixões**. Disponível em: < <http://euambientalista.blogspot.com/2013/02/recuperacao-de-areas-degradadas-pela.html>>. Acesso em: 02 Nov. 2020.

REICHERT, G. A. Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Manual 2007. 117 p. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2018.

REIS, F. A. G. V. Formas de Disposição de Resíduos Sólidos: Aterro Sanitário. Universidade Estadual Paulista, Engenharia Ambiental, Rio Claro, 2001. Disponível em: Acesso em 05 mai. 2018.

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, **O que são resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/duvidas_frequentes.pdf>. Acesso em: 03 Nov. 2020.

RESÍDUOS SÓLIDOS: ORIGEM, CLASSIFICAÇÃO E SOLUÇÕES PARA DESTINAÇÃO FINAL ADEQUADA, **Disposição de Resíduos**. Disponível em: <https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/32_Residuos-solidos.pdf>. Acesso em: 02 Nov. 2020.

ROCCA, A. C. C. Drenagem sub-superficial em aterros sanitários. Revista de Limpeza Pública, São Paulo, 1981, v.8, n.19, p. 16–27.

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

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, UNIEVANGÉLICA

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE, Prefeitura Municipal de Botucatu. **Plano Municipal De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos De Botucatu.** <<https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2017/05/botucatu.pdf>> Acesso em 11 fev. 2021.

SOARES, J. H. P. **Gerenciamento de resíduo sólido**: curso de especialização em análise ambiental, maio de 2006. 142f. Notas de aula.

Você sabe para onde vão seus resíduos, em **Botucatu**? Disponível em: < <https://www.ciclolimpo.com/blog/22-voce-sabe-para-onde-vao-seus-residuos-em-botucatu>>. Acesso em: 3 fev. 2021

Aterro Sanitário Disponível em: < https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/AS-_Aula-9.pdf >. Acesso em: 15 fev. 2021