



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Michel Santana de Moraes

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO COM SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME PARA CIDADES COM DESCARTE DIÁRIO DE ATÉ 20 TONELADAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Palmas – TO

2018

Michel Santana de Morais

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO COM SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME
PARA CIDADES COM DESCARTE DIÁRIO DE ATÉ 20 TONELADAS DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil, pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Miguel Angelo De Negri.

Palmas – TO

2018

Michel Santana de Moraes

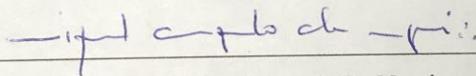
PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO COM SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME
PARA CIDADES COM DESCARTE DIÁRIO DE ATÉ 20 TONELADAS DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de
Engenharia Civil, pelo Centro Universitário Luterano de
Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Miguel Angelo De Negri.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

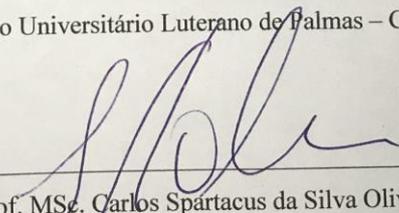
BANCA EXAMINADORA



Prof. Miguel Angelo De Negri

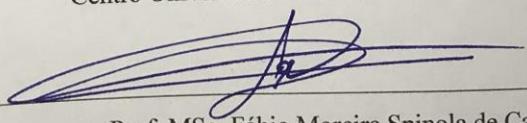
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. MSc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. MSc. Fábio Moreira Spinola de Castro

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Primeiramente agradeço a Deus, que sempre esteve ao meu lado, me dando forças para prosseguir mesmo quando eu não estive tão próximo a Ele.

Agradeço também aos meus pais, que nunca mediram esforços em arcar com meus estudos e por toda a educação e ensinamentos a mim concedidos.

À minha namorada, Annie, que sempre serviu de inspiração e esteve sempre me incentivando, contribuindo para que eu pudesse ser sempre uma pessoa melhor.

A todos os professores do CEULP/ULBRA, que estiveram sempre dispostos a passar todo o conhecimento e o melhor conteúdo para nós alunos, em especial meus orientadores Mênfis Bernardes e Miguel Ângelo.

A todos os amigos que fiz no CEULP, Arthur, Cairom, Douglas, Jhonatan, Mariana, Ricardo, entre outros, que sempre contribuíram e me ajudaram muito nos grupos de estudos. Sei que posso contar com eles para o que precisar.

RESUMO

MORAIS, Michel Santana de. **Projeto de aterro sanitário com sistema de drenagem de chorume para cidades com descarte diário de até 20 toneladas de resíduos sólidos.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas-TO, 2018

Os resíduos sólidos urbanos, quando em sua decomposição, geram efluentes líquidos capaz de contaminar todo o solo e águas subterrâneas. Essa ação se dá devido ao resultado da percolação de água da chuva ou da própria umidade desses resíduos. Além disso, essa decomposição gera também os grandes vilões do efeito estufa, os biogases. Por não possuir nenhum tipo de tratamento prévio do local, os lixões e aterros controlados viram um grande centro de poluição, gerando vetores de doenças, contaminando o solo, a água e o ar. Ciente disso, uma Lei Federal busca colocar um fim em toda essa prática tão prejudicial ao meio ambiente, dando prazo para que as cidades elaborem e executem um plano de gestão de resíduos. De forma a evitar toda essa contaminação, os aterros sanitários se tornam a forma ideal para disposição final dos resíduos no solo, uma vez que há toda uma preparação do terreno que minimiza danos causados ao meio ambiente. O presente trabalho busca projetar um Aterro Sanitário fictício para a cidade de Campinorte - GO, onde, através dos dados provenientes daquela região, serão apresentadas todas as etapas necessárias para o dimensionamento das valas para o confinamento dos resíduos, as camadas de proteção, além de toda a drenagem e coleta dos lixiviados e dos gases formados.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Projeto de aterro sanitário.

RESUMO

MORAIS, Michel Santana de. **Sanitary landfill project with slurry drainage system for cities with daily disposal of up to 20 tons of solid waste.** 2018. Term paper (graduation) – Civil Engineering. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas-TO, 2018

Solid waste, when decomposed, generates liquid effluents capable of contaminating all soil and groundwater. This action is due to the result of the percolation of rainwater or the very humidity of these wastes. In addition, this decomposition also generates the big villains of the greenhouse effect, biogases. Because it has no previous treatment of the site, the landfills and controlled landfills have seen a large pollution center, generating vectors of diseases, contaminating soil, water and air. Aware of this, a Federal Law seeks to put an end to all this practice that is so damaging to the environment, giving cities time to design and implement a waste management plan. In order to avoid all this contamination, landfills become the ideal way to dispose of waste in the soil, since there is a whole preparation of the land that minimizes damage to the environment. The present work seeks to design a fictitious Sanitary landfill for the city of Campinorte - GO, where, through the data from that region, all the necessary steps will be presented for the dimensioning of the ditches for the confinement of the residues, the layers of protection, besides the entire drainage and collection of the leachate and the gases formed.

Keywords: Solid Waste, Solid waste landfill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lixeira para coleta seletiva.....	15
Figura 2 – Aterro de Porto Nacional - TO.....	16
Figura 3 – Esquema de lixão ou vazadouro.....	17
Figura 4 - Aterro Sanitário de Palmas	18
Figura 5 - Ordem de Prioridade na Gestão e Gerenciamento de RSU	21
Figura 6 - Esquema de Drenagem de Chorume.....	22
Figura 7 - Lagoa de Tratamento de Chorume.....	23
Figura 8 - Dreno de Gás em Aterro Sanitário.....	24
Figura 9 - Diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás.....	25
Figura 10 - Mapa do estado de Goiás	26
Figura 11 – Esquema trincheira.....	35
Figura 12 – Dados climatológicos da região Software Plúvio.....	37
Figura 13 - Tubulação de drenagem de chorume perfurada.....	40
Figura 14 - Flange de passagem na manta de PEAD.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Código com os Resíduos Sólidos Não Perigosos	19
Quadro 2 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos	20
Quadro 3 – Cronograma do projeto de pesquisa	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ULBRA – Universidade Luterana do Brasil

CEULP – Centro Universitário Luterano de Palmas

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEMPRE – Compromisso Nacional Para Reciclagem

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

Nº - Número

O₂ – Oxigênio

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

H₂ – Hidrogênio

H₂S – Gás Sulfídrico

N₂ – Nitrogênio

kg – Quilograma

m – Metros

L – Litros

s - Segundos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 PROBLEMA	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 O LIXO	17
2.2 AS FORMAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	18
2.2.1 Coleta Seletiva	18
2.2.2 Lixão ou Vazadouro	19
2.2.3 Aterro Controlado	20
2.2.4 Aterro Sanitário	21
2.3 DEFINIÇÕES	22
2.3.1 Resíduos Sólidos	22
2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos	23
2.3.3 Sistema integrado de gerenciamento de Recursos Sólidos Urbanos	24
2.3.4 Chorume	25
2.3.4.1 Formas de Tratamento de Chorume	26
2.3.5 Biogás	27
2.3.5.1 Aproveitamento do Biogás	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 TIPO DE ESTUDO	29
3.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	29
3.3 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS CÉLULAS	30
3.4 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CÉLULAS	30
3.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE	30
3.6 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL	30
3.7 SISTEMA DE DRENAGEM, REMOÇÃO E TRATAMENTO DO PERCOLADO	31
3.8 SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	32
3.9 RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 SELEÇÃO DA ÁREA	33

4.1.1	Projeção de crescimento populacional do município	33
4.1.2	Geração per capita de resíduos	34
4.2	DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS	34
4.2.1	Volume das Trincheiras	34
4.2.2	Comprimento médio das Trincheiras	36
4.2.3	Volume de ocupação por trincheira (Vo)	37
4.3	SISTEMA DE COBERTURA DOS RESÍDUOS	37
4.3	IMPERMEABILIZAÇÃO DAS TRINCHEIRAS	38
4.3.1	Cuidados e dimensionamentos da manta:	38
4.4	SISTEMA DE DRENAGEM E ESCOAMENTO SUPERFICIAL	38
4.4.1	Intensidade de Chuva (i)	39
4.5	SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME.....	41
4.6	SISTEMA DE DRENAGEM DE BIOGÁS	43
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional cada vez mais acelerado, a produção de materiais e atividades cresce, ocasionando um surgimento cada vez maior de resíduos, que quando dispostos de maneira inadequada, acabam gerando grandes problemas ambientais.

O tema sobre impactos ambientais está cada vez mais presente nos debates entre as autoridades governamentais, e mesmo assim, ainda é possível notar que grande parte dos municípios brasileiros não possuem soluções e planejamentos para o sistema de destinação de resíduos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008, apontou que de 1989 à 2008 houve um crescimento considerável de municípios que abandonaram o sistema de descarte de resíduos em lixões à céu aberto e passaram a aderir ao sistema de aterros sanitários ou aterros controlados. Entretanto, apesar da considerável mudança, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) (RESÍDUOS..., 2010) expõe que ainda há uma grande dificuldade para que se tenha uma disposição final dos resíduos sólidos urbanos de maneira adequada, principalmente em municípios de pequeno e médio porte, onde não se dispõe de muito recurso financeiro para dar a devida importância que o tema necessita.

Os custos para a implantação de um sistema eficiente de manejo desses resíduos sólidos podem oferecer um grande impacto nos orçamentos administrativos dos municípios, já que esse serviço compreende, entre outras, a coleta, limpeza pública, destinação final e o tratamento de tais resíduos. E é por isso que muitas vezes as pessoas responsáveis pela administração do município não se dispõem a investir recursos para este tratamento.

Quando não há locais disponíveis para que seja feito a disposição e o tratamento de forma adequada dos resíduos sólidos, esse descarte é feito de maneira irregular em lixões a céu aberto.

Os lixões representam a pior alternativa para o descarte dos resíduos sólidos. Uma vez descartados à céu aberto, sem nenhum tratamento, os lixões se tornam um grande vetor de doenças, causando também a proliferação de insetos e roedores, que transmitem diversas doenças para o ser humano. Além disso, afeta diretamente o meio ambiente, uma vez que o líquido formado na degradação dos resíduos, chamado de chorume, se infiltra e contamina tanto o solo quanto os lençóis freáticos.

Em contrapartida Aterro Sanitário se torna a melhor alternativa para a disposição de resíduos sólidos, sendo mais viável e eficiente. Por isso, o Ministério do Meio Ambiente

(MMA) instituiu A Lei de nº 12.305/2010, chamada de Política Nacional de Resíduos Sólidos, em que entre outras soluções, torna obrigatória a implantação de um Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, implantando Aterro Sanitário e dando fim à pratica de disposição final em Lixões.

São vários os métodos de operação de um aterro sanitário, que podem variar de acordo com a demanda e capacidade de operação de acordo com a população atendida. Para este trabalho, o foco fica por parte de cidades de pequeno porte, com descarte diário de até 20 toneladas de resíduos sólidos, onde é utilizado o método de disposição em valas manuais, através de trincheiras.

O método consiste em dispor os resíduos sólidos confinados em células, também chamadas de trincheiras, onde quase toda a operação pode ser feita sem o uso de maquinário pesado, viabilizando assim sua operação para municípios que não dispõe de grande suporte financeiro. Ao final de cada dia de serviço, os resíduos são cobertos por uma camada de terra, evitando assim a emissão de odores e proliferação de vetores de doenças.

Um bom desempenho de um aterro sanitário, sob aspectos técnicos, sociais, econômicos e de saúde pública, passa diretamente pela escolha adequada de sua área de implantação, uma vez que, além de controlar a poluição ambiental, também é importante para preservar a poluição visual.

No campo da engenharia, reduzir impactos e proteger o meio ambiente, analisando e estudando alternativas locais é de suma importância, pois, além dos benefícios citados, é possível obter recursos com o tratamento dos resíduos sólidos, gerando assim resíduos estáveis química e biologicamente, além da geração de energia através do biogás.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Dimensionar as valas e o sistema de drenagem de um aterro sanitário para cidades de pequeno porte, em específico para a cidade de Campinorte-GO.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar etapas de um aterro sanitário de pequeno porte, utilizando o método de valas.
- Dimensionar o sistema de drenagem de chorume e biogás, estimando a quantidade de percolado que será drenado e removido.
- Estabelecer rotinas de implantação de um aterro sanitário bem como sua operação de disposição de resíduos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A implantação de um projeto de aterro sanitário é de suma importância, à fim de reduzir os riscos de danos à saúde pública e ao meio ambiente, além de ser uma alternativa mais segura, e sob o aspecto econômico, a mais viável.

Um fator que deve se considerar para o problema é o exponencial crescimento da população, trazendo cada dia mais a necessidade de suprimentos, e assim, acarretando em mais resíduos.

É importante mencionar que desde 2010, uma Lei Federal visa regulamentar o setor. Denominada de Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Lei nº 12.305, de 2010, contém itens regulatórios para a gestão de saneamento básico e o destino final dos resíduos sólidos. Ainda segundo a Lei 12.305, todos os municípios brasileiros têm prazo determinado para que se desative os chamados lixões a céu aberto.

Sendo assim, a implantação de aterros sanitários se torna imprescindível diante do cenário atual. Seu sistema garante que o solo se torne impermeável, evita a contaminação do lençol freático, do solo e do ar, causados pelo chorume e pelo biogás, produzidos na decomposição dos resíduos, o que ocasionará em uma qualidade de vida bem mais saudável, com diminuição direta de doenças causadas pelos lixões.

1.3 PROBLEMA

Por que é necessário que se adequem condições para que as cidades possam ter locais apropriados para o descarte final dos resíduos sólidos, sem assim, prejudicar a qualidade de saúde da população e do meio ambiente?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O LIXO

Segundo Silva (2011, online) desde os tempos mais primórdios, quase todo o lixo produzido era proveniente de material agrícola ou pecuário. Com a revolução Industrial, esse cenário mudou, e passou a ter um considerável aumento na quantidade de produtos industrializados e também no número de habitantes.

Com isso, os resíduos que antes eram enterrados nos próprios terrenos dos moradores, o que até certo ponto era positivo pois evitava que o lixo ficasse à céu aberto, passaram a virar um grande problema após a industrialização.

Diante desse acontecimento histórico, o mundo se viu atraído pelo consumismo. As indústrias visando lucros, à todo momento inovavam e produziam cada vez mais produtos. Sendo assim, as produções aumentaram consideravelmente, ocasionando também no aumento de lixo e resíduos.

As pessoas começaram então a encarar a questão lixo com preocupação, pois havia um iminente risco de contaminação e doenças. Como solução, passaram a fazer o descarte desses resíduos em locais distantes das áreas urbanas, o que hoje são conhecidos como lixões.

Como antigamente o lixo não era tratado com devida atenção, além de descartados nas regiões periféricas da cidade, também ocorria o descarte em lagos, rios, córregos e encostas. Isso acontecia principalmente em países subdesenvolvidos. Com isso, havia proliferação de insetos capazes de transmitir diversas doenças, contaminação dos recursos hídricos e do solo devido à decomposição dessa matéria orgânica além do odor desagradável que gerava nas proximidades.

No Brasil, há uma grande dificuldade na gestão e designação final desses resíduos. Por ter uma grande desigualdade social, é possível ainda, principalmente nas áreas mais carentes, observar situações em que a população tenha que conviver em contato direto com lixos e resíduos.

Entretanto, esse cenário tende a mudar, tendo em vista que o tema Gestão ambiental é cada vez mais frequente, onde as entidades governamentais se reúnem para tratar do assunto. Diante da preocupação com o meio ambiente e também de uma melhoria na qualidade de vida dos habitantes, a Lei Federal de nº 12.305, que vigora desde 2010, visa adequar o sistema de designação dos resíduos sólidos, abolindo assim o uso de lixões e passando a utilizar aterros sanitários. A lei estipulou prazo de quatro anos para que os municípios se adequassem, sendo penalizados caso haja o seu descumprimento.

2.2 AS FORMAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

2.2.1 Coleta Seletiva

Segundo o Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), a coleta seletiva é um sistema de coleta onde os resíduos são previamente separados pela própria fonte geradora, no caso os cidadãos, e que visa facilitar a destinação de RSU e tornando sua reciclagem uma maneira mais fácil e com menor custo para sua operação.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) ainda diz que se torna obrigatório para os municípios a implementação da coleta seletiva como parte do plano de gestão integrada de resíduos sólidos, que está previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Na Figura 01, mostra o princípio da coleta seletiva, onde o próprio cidadão faz a seleção do descarte através de depósitos personalizados de acordo com o tipo de resíduo.

Figura 01 - Lixeira para coleta seletiva



Fonte: Meio Ambiente (online)

2.2.2 Lixão ou Vazadouro

Segundo Lanza e Carvalho (2006), lixão é uma forma de disposição final dos resíduos sólidos, onde não há critério técnico ou proteção ao meio ambiente. Os resíduos são basicamente jogados à céu aberto sem nenhum tipo de tratamento final. É o método mais perigoso e que infelizmente ainda é utilizado no Brasil.

Por não ter tratamento, essa pratica coloca em risco solo, lençol freático, o ar e também os seres vivos que vivem à sua volta. Por sua desigualdade social enorme, no país é possível observar, principalmente nas áreas mais carentes do país, pessoas que procuram suprimentos no meio de lixões como estes.

Ainda como complementação da definição de lixão, segundo Obladen, Barros e Obladen (2009, p. 5), os vazadouros à céu aberto ocorrem principalmente em municípios que sofrem financeiramente para colocar em prática um sistema de política ambiental bem definido. Geralmente localizados inadequadamente, causando degradações ao seu redor. Como consequência, a região de lixões acabam apresentando a proliferação de vetores, maus odores, que contaminam o ar, água e solo.

De acordo com o IBGE (2008), uma pesquisa realizada baseada em levantamentos fornecidos pelas prefeituras dos municípios brasileiros, 50,8% dos municípios ainda depositavam seus resíduos em vazadouros ou lixões sem nenhum tipo de tratamento. A Figura 02 ilustra como ainda há uma má disposição final para os resíduos urbanos, onde o lixo é disposto no aterro de Porto Nacional de forma inadequada.

Figura 02 – Aterro de Porto Nacional-TO



Fonte: TV Anhanguera (2016, Online)

Figura 03 - Esquema de lixão ou vazadouro



Fonte: Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999

2.2.3 Aterro Controlado

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985), aterro controlado é a técnica de dispor RSUs no solo, sem que haja más consequências à saúde pública minimizando assim os impactos ambientais. Ainda segundo a norma, essa técnica de engenharia consiste em cobrir com solo todos os resíduos sólidos coletados a cada dia ou num determinado período que for necessário, utilizando a menor área e volume possível.

Machado (2003) diz que este foi um termo criado para diferenciar os aterros que não são sanitários, e que essa foi uma solução adotada pelos municípios que não conseguiam tratar todos os resíduos gerados. Essa técnica não possui impermeabilização da base, drenagem de percolados, tampouco possui a extração do gás gerado pela decomposição desses resíduos. Sendo assim, pode-se dizer que o aterro controlado gera uma espécie de poluição localizada. Por não dispor de impermeabilização de sua base, o aterro controlado pode vir a ser um grande problema, caso o chorume e seu estado líquido atinja o lençol freático, causando assim a contaminação do recurso hídrico.

Ainda que seja um método mais seguro que os lixões, possui falhas que tornam essa prática com qualidade menor que Aterros Sanitários.

2.2.4 Aterro Sanitário

A ABNT (1992) através da NBR 8419 define que, assim como o aterro controlado, aterro sanitário é uma técnica para disposição de resíduos sólidos, que visa minimizar os impactos ambientais com menos danos à saúde pública. Método esse que utiliza princípios de engenharia para, em menor área possível, confinar resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de terra ao final do dia.

É o método de destinação final sanitário mais adequado e completo. Indicado para cidades de médio porte, que possua descarte superior à 40 toneladas por dia, este método deve dispor de coleta e tratamento de chorume, assim como a drenagem e o tratamento do biogás por possuir grande concentração de resíduos. Sua construção exige que a base seja impermeabilizada, para que o percolado proveniente de água da chuva e chorume atinjam o lençol freático.

Por possuir baixo custo de implantação inicial e de operação em comparado à outras alternativas, esse método é uma solução com ótimo custo benefício. A Figura 04 ilustra a operação de um aterro sanitário, localizado na cidade de Palmas – TO.

Figura 04 – Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: ConexãoTO (online)

2.3 DEFINIÇÕES

2.3.1 Resíduos Sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como resultados de atividades humanas. Essas por sua vez podem ser de origem industrializada, doméstica, da área de saúde ou comerciais e que podem ou não serem reutilizados e reciclados.

A Tabela 01, baseada na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008), mostram a distribuição dos resíduos no Brasil.

Tabela 01 – Disposição Final de RSU no Brasil

Ano	Destino Final dos Resíduos Sólidos (%)		
	Vazadouro à Céu Aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008

Os resíduos sólidos são classificados através do seu grau de risco de contaminação. Os aterros sanitários somente poderão receber resíduos sólidos de Classe II, de acordo com a NBR 10.004/1987 da ABNT. O Quadro 01 apresenta os resíduos que podem ser dispostos no aterro sanitário.

Quadro 01 – Código com os Resíduos Sólidos Não Perigosos

Código de Identificação	Descrição do Resíduo	Código de identificação	Descrição do resíduo
A001	Resíduo de restaurante (restos de alimentos)	A009	Resíduo de madeira
A004	Sucata de metais ferrosos	A010	Resíduo de materiais têxteis
A005	Sucata de metais não ferrosos (Latão etc.)	A011	Resíduos de minerais não-metálicos
A006	Resíduo de papel e papelão	A016	Areia de fundição

A007	Resíduos de plástico Polimerizado	A024	Bagaço de cana
A008	Resíduos de borracha	A099	Outros resíduos não perigosos

Fonte: ABNT (2004)

2.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A PNRS está instituída na Lei federal de Nº 12.305/2010 e contém itens que servirão de avanço para enfrentar problemas que afetam o meio ambiente.

Para o Ministério do Meio Ambiente, trata-se de uma lei que visa prevenir e reduzir a geração de resíduos urbanos, onde é incentivado a prática de hábitos sustentáveis. Além disso, a lei propõe o gerenciamento integrado de RSU, tornando obrigatório o fim da prática de disposição final em Lixões, fazendo-se uso dos Aterros Sanitários e aplicando sanções caso haja o descumprimento da lei.

Para eliminar os lixões, a Lei 12.305 (Brasil, 2010) determinou que os municípios tinham um prazo de 4 anos para a criação de Planos de gerenciamento quanto à logística completa desde a coleta até a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, e assim acabar com funcionamento dos vazadouros. O prazo se encerrou no dia 2 de agosto de 2014.

O quadro 02 apresenta as mudanças e os benefícios que a Lei busca alcançar.

Quadro 02 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

O que muda com a Lei Nº 12.305/10	
Antes	Depois
Falta de prioridade para o lixo urbano	Municípios passam a fazer planos de metas sobre resíduos com participação dos catadores

Existência de lixões na maioria dos municípios	Lixões erradicados em até 4 anos
Resíduo Orgânico sem aproveitamento	Prefeituras passam a fazer compostagem
Coleta Seletiva cara e ineficiente	É obrigatório controlar custos e medir qualidade do serviço

Fonte: CEMPRE (2011)

2.3.3 Sistema integrado de gerenciamento de Recursos Sólidos Urbanos

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2001), o plano de gerenciamento é um documento onde é apresentado viavelmente soluções para o sistema de limpeza urbana, e deve compor toda a logística e metodologia que vai desde a sua geração até a destinação final de RSUs.

Para Monteiro (2001), o Gerenciamento Integrado de Resíduos Urbanos é quando ocorre o envolvimento de diferente órgãos com a finalidade de coletar, dispor e tratar todo o lixo produzido e com isso aumentar a qualidade de vida da população.

O gerenciamento integrado faz com que o lixo seja observado de uma maneira diferente, não apenas como algo descartado sem valor. Quando há êxito em seu gerenciamento, é possível ter uma coleta de lixo e limpeza urbana eficiente, além de um aproveitamento dos resíduos, sejam eles descartáveis ou não.

No Brasil, a gestão e o gerenciamento de RSU é definida no Art. 9 da Lei 12.305/2010, onde diz que “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. ”

A intenção do Governo ao estabelecer essa lei é colocar o país no mesmo nível de igualdade com países desenvolvidos. A Figura 05 ilustra a ordem de prioridade, que é baseada em metodologias de sucesso aplicadas em outros países.

Figura 05 – Ordem de Prioridade na Gestão e Gerenciamento de RSU



Fonte: Portalresiduossolidos (online)

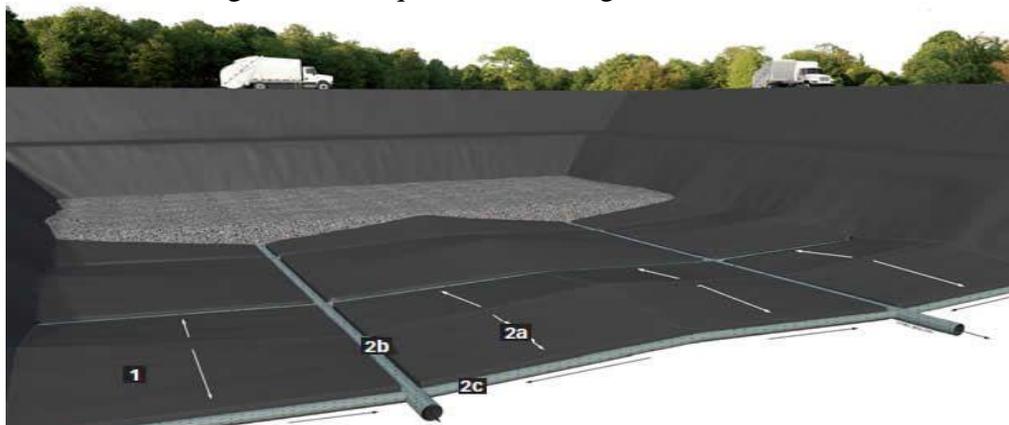
2.3.4 Chorume

De acordo com Serafim (2003), lixiviado ou chorume, trata-se de um líquido formado devido a decomposição em aterros sanitários, de coloração escura e altamente poluente. Por conter substâncias altamente solúveis, o chorume pode contaminar o lençol freático e por isso deve ser tratado o quanto antes. Esse líquido pode-se originar tanto da umidade do lixo, que tem seu volume aumentado devido às chuvas, quanto de bactérias existentes no lixo.

Para Gonçalves (2017), o tipo de tratamento deve ser escolhido após análises para viabilizar a melhor forma, sendo que a mais praticada é o tratamento por meio de processo biológico, por se tratar de uma alternativa de alta eficiência.

Conforme a Figura 06 ilustra, os drenos são instalados na base impermeada do aterro, para que o lixiviado possa então ser drenado e transportado para o seu devido tratamento.

Figura 06 – Esquema de Drenagem de Chorume



Fonte: InfraEstrutura Urbana PINI (online)

2.3.4.1 Formas de Tratamento de Chorume

Dentre as formas comumente utilizadas para o tratamento do chorume, pode-se destacar:

- **Precipitação Química**

Segundo GOMES (2009), a precipitação química consiste em remover compostos orgânicos não biodegradáveis através da aplicação de produtos químicos, que por sua vez removem as substâncias dissolvidas e suspensas por sedimentação.

- **Evaporação do Chorume**

Com um custo baixo para implantação e operação de fácil manuseio, a evaporação do chorume faz com que haja uma considerável redução de seu volume. Ela pode ocorrer de maneira natural, com a ação de energia solar, ou de forma forçada, fazendo uso do próprio gás gerado no aterro. Para uma evaporação natural, porém, é preciso que seja executada em locais onde haja bastante insolação. (GOMES, 2009). Por ocasionar na produção de gases em seu processo de evaporação, esse método precisa ser avaliado minuciosamente.

- **Sistemas de Lagoas**

Esse método consiste na construção de lagoas de ordem natural ou artificial, prontas para o recebimento de efluentes orgânicos. No Brasil, é a forma mais frequente utilizada para o tratamento de lixo orgânico, com lagoas em série (Lagoa Anaeróbia, facultativa e de maturação). Sua ação consiste em degradar os efluentes orgânicos através das bactérias contidas nas lagoas. É dependente de luz natural e calor e por isso se torna bem eficiente em países de climas tropicais. (GOMES, 2009)

A figura 07 mostra uma lagoa de tratamento de chorume, implantada na cidade de Rio Claro, SP.

Figura 07– Lagoa de Tratamento de Chorume



Fonte: EPTV (online)

2.3.5 Biogás

Segundo Biodieselbr (online), assim que ocorre a disposição dos resíduos no solo, este passa pelo processo anaeróbico de digestão. Com isso, por conter significativa quantidade de matéria orgânica biodegradável, além do chorume, acaba gerando também um gás, que pelo Brasil acabou conhecido de Biogás.

A composição desse gás é basicamente formada pelos seguintes elementos: nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2), gás sulfídrico (H_2S), e principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), esses dois últimos conhecidos como os vilões e principal causadores do Efeito Estufa e por isso deve ser drenado e tratado.

Figura 08 – Dreno de Gás em Aterro Sanitário



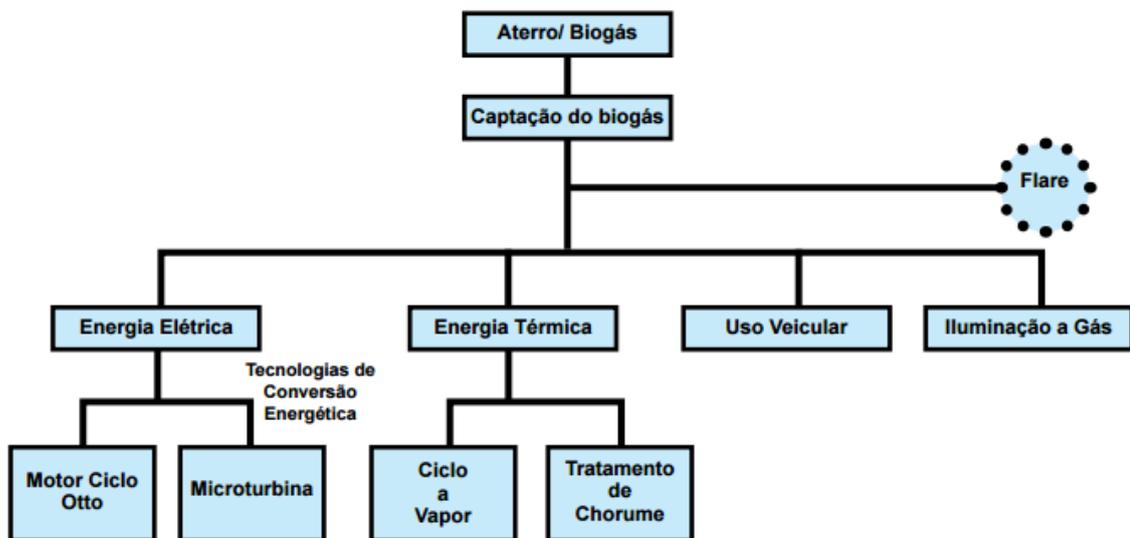
Fonte: IPDSA (online)

2.3.5.1 Aproveitamento do Biogás

Para Tolmasquim (2003), no Brasil apresentam-se desafios enormes, sendo que um desses é relacionado ao aproveitamento energético dos recursos naturais. O país é frequentemente apontado como um dos maiores em potencial, com relação à geração de energia por recursos naturais.

Na figura 09, é possível analisar o diagrama contendo algumas alternativas para o uso do biogás.

Figura 09. Diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás.



Fonte: Instituto Agir Sustentável.

Ainda segundo Tolmasquim (2003), o maior destino do biogás é o seu aproveitamento como combustível para gerar energia, em motores de combustão interna.

Para a geração energética de eletricidade através da queima de Biogás, o método mais utilizado é a geração em motores de Ciclo Otto, que, segundo MACEDO (2009), possui menor custo e maior efetividade energética, quando comparado com outros métodos.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO

A pesquisa do referente trabalho será de forma aplicada, quantitativa e descritiva, visando obter dados para que, ao final do trabalho, se tenha o dimensionamento e o procedimento executivo do projeto.

3.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Para a realização do estudo, foi escolhido o município de Campinorte-GO, cidade que segundo pesquisa do IBGE possui uma população estimada cerca de 12.198 habitantes, de acordo com censo IBGE/2016, localizada à 304 km de distância da capital do estado Goiânia, e 533 km de Palmas - TO . É uma cidade de pequeno porte do ponto de vista de descarte de lixo, onde a coleta de resíduos sólidos diários é de aproximadamente 10 toneladas por dia.

A cidade possui área destinada ao descarte dos resíduos sólidos, porém sem nenhum tipo de tratamento. Ou seja, funciona como um lixão a céu aberto. Na Figura 10 mostra onde está a localização da cidade destacada no mapa do estado de Goiás.

Figura 10 – Mapa do estado de Goiás



Fonte: Google Images (online)

3.3 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS CÉLULAS

Através do levantamento de dados referentes à população atual, bem como a estipulação de seu crescimento, foram realizados cálculos para estimar a produção per capita de resíduos gerados diariamente.

Com isso, foram dimensionadas as células com intuito de comportar adequadamente todo o volume de resíduos gerados ao longo dos dias.

3.4 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CÉLULAS

A vida útil de um projeto de Aterro Sanitário deve ser de no mínimo 10 anos, sendo que este deverá ainda ser monitorado por mais 10 anos após a sua desativação, de acordo com a ABNT (2010).

Após a determinação do tempo útil do projeto, foi calculada a quantidade de células necessárias para comportar o volume de descarte gerado durante os anos de funcionamento do aterro.

3.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE

Além da utilização de uma camada de solo com taxa de impermeabilização elevada, com espessura à ser determinada, foi feito a previsão de uso de material geossintético PEAD (Polietileno de Alta Densidade) para garantir a devida impermeabilização da base.

Essa ação tem como função proteger o lençol freático, evitando que o percolado de chorume o contamine.

3.6 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O dimensionamento do sistema de drenagem superficial se faz necessário para evitar que as águas da chuva infiltrem no maciço do aterro. Isso ocasionaria um aumento do volume de chorume e conseqüentemente sobrecarregando o sistema de drenagem interna de chorume percolado.

A água precipitada deve ser drenada e transportada para cursos d'água, evitando assim que se tenha sua contaminação quando em contato com os resíduos sólidos dispostos no solo.

Sendo assim, será previsto o sistema de drenagem superficial para águas pluviais provenientes de precipitações.

Pelo método de vazão contribuinte temos:

$$Q = C \times i \times A / 3600$$

Q= vazão na seção considerada (l/s)

C= coeficiente de escoamento superficial

A= área de bacia contribuinte (m²)

I = intensidade da chuva crítica da região da cidade de Porto Nacional - TO (mm/h).

Para o cálculo geométrico do dreno, à partir da vazão, temos que:

$$\text{Vazão} = (R_h^{(2/3)} S \cdot i^{(1/2)}) / n$$

n = coeficiente de rugosidade (Coeficiente de Manning)

Rh= raio hidráulico (Área molhada dividido pelo Perímetro molhado)

S= área da seção transversal

I = declividade do canal (m/m)

3.7 SISTEMA DE DRENAGEM, REMOÇÃO E TRATAMENTO DO PERCOLADO

Um perfeito funcionamento do sistema de drenagem é extremamente importante para a estabilidade do aterro sanitário, por isso, será previsto e dimensionado, sobre a impermeabilização, um sistema para que se tenha a drenagem e a remoção dos líquidos que percolam através dos resíduos, indicando a estimativa da quantidade de líquido que será drenado e removido.

O sistema de drenagem garante a estabilização do aterro, evitando um possível colapso futuro.

Para o cálculo de vazão de líquido percolado em aterros sanitários, geralmente se faz uso do método de Penman (balanço Hidrológico), em que:

$$Q = [(\text{PER} \times A) / T] \text{ (l/s)}$$

PER = percolado (mm/ano)

A = área do aterro (m)

T = tempo de um ano em segundos

Para efeito de comparação, também pode ser utilizado o método Suíço:

$Q = (1/t) \times P \times A \times K$ Resultado em l/s

K = coeficiente de aterro compactado

A = Área do aterro (m²)

P = Precipitação anual (mm/ano)

T = tempo de um ano em segundos

3.8 SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES

Foi dimensionado o sistema de drenagem e migração dos gases formados, através de tubos verticais dispostos ao longo do aterro.

3.9 RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS

Com o encerramento do trabalho diário, será previsto o cobrimento parcial das células, com espessura de terra de 15 a 20cm, onde os resíduos compactados serão recobertos a fim de evitar que os resíduos sejam arrastados pelo vento ou a propagação de mau cheiro. Essa ação deve se repetir até que a capacidade da célula esteja esgotada. Quando isso acontecer, deve ser feito a cobertura final da célula.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SELEÇÃO DA ÁREA

Para obter a estimativa do tamanho da área, foi preciso fazer uma projeção de toda a geração de resíduos e também o volume do aterro.

De posse da área superficial de todas as trincheiras necessárias para comportar todo o volume de resíduos sólidos no horizonte de projeto, foi acrescentado também o espaço mínimo necessário para outras áreas imprescindíveis para o bom funcionamento de um aterro sanitário.

- Área para triagem e compostagem
- Guarita, balança, oficinas e estacionamento
- Vias de acesso
- Sistema de tratamento de efluentes (lagoas)
- Cinturão Verde

Pelo fato da cidade não possuir ainda área específica destinada à construção do aterro, foi adotado uma área ideal, para que pudesse ser comportada toda a área destinada as células do aterro, bem como as áreas citadas acima.

A área ideal do aterro para base de cálculo foi de 100 mil metros quadrados, ou 10 ha.

4.1.1 Projeção de crescimento populacional do município

A cidade de Campinorte se encaixa na classe de municípios de pequeno porte, onde se classificam municípios de 10.000 a 20.000 habitantes. Para esses municípios, a pesquisa realizada no ano de 2014 prevê crescimento de 0,51% de crescimento anual.

Através desse percentual, foi elaborada uma planilha no programa Microsoft Excel, conforme o quadro 03 à fim de obter os cálculos referente à projeção da população total em cada ano de utilidade do projeto do aterro.

Quadro 03 – Estimativa do crescimento populacional

ANO	TAXA DE CRESCIMENTO %	POPULAÇÃO ESTIMADA
2016		12.198
2017	0,51	12.260
2018	0,51	12.323
2019	0,51	12.386
2020	0,51	12.449

2021	0,51	12.512
2022	0,51	12.576
2023	0,51	12.640
2024	0,51	12.705
2025	0,51	12.769
2026	0,51	12.835
2027	0,51	12.900
2028	0,51	12.966
2029	0,51	13.032
2030	0,51	13.098
2031	0,51	13.165
2032	0,51	13.232
2033	0,51	13.300

Fonte: Do Autor (2018)

4.1.2 Geração per capita de resíduos

O valor de densidade aparente dos resíduos sólidos foi adotado em média de 500kg/m³, devido a sazonalidade comparando as épocas de chuva e seca.

E a geração per capita de RSU ficou com o coeficiente de 0,657 kg/hab/dia, valor sugerido para cidades com essa população.

4.2 DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS

4.2.1 Volume das Trincheiras

Para o dimensionamento das trincheiras, foi utilizado como parâmetro os dados abaixo:

População: 12.198 habitantes (Censo IBGE/2016)

Peso específico do lixo (Y): 500kg/m³ - 0,5 ton./m³

Geração per capita de RSU: 0,657 kg/hab/dia

Fator de Cobertura: 25%

Horizonte de planejamento: 10 anos

Para que fosse atendido um bom critério de relação sustentável e custos de implantação, cada trincheira foi projetada para ter uma duração de 4 meses, mantendo a boa vida útil da mesma.

Para isso, é calculado o volume total diário de resíduos gerados, mais o volume do material de cobertura, chegando assim ao valor do volume total necessário para comportar os resíduos em seu tempo de duração.

- **Volume de Lixo diário de Ocupação (VL)**

$$VL = (\text{número de hab.} * \text{geração per capita de RSU} * 1 / Y) * \text{Fator de Cobertura}$$

$$VL = (12.198 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25$$

$$VL = 20,04 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Volume anual de ocupação (VRA)**

$$VRA = 365 \text{ dias} * VL$$

$$VRA = 365 \text{ dias} * 20,04 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$VRA = 7.314,60 \text{ m}^3$$

Como o índice de crescimento populacional da cidade é relativamente baixo, o aumento de RSU gerado também será irrisório. Portanto, será calculado um dimensionamento padrão para as trincheiras.

- **Volume Padrão das Trincheiras (2 meses)**

$$VT = 20,04 * 30 \text{ dias} * 2 \text{ meses}$$

$$VT = 1.202,4 \text{ m}^3$$

- **Volume Total no Horizonte de Projeto (VH)**

$$VH = 7.314,60 * 10 \text{ (anos)}$$

$$VH = 73.146 \text{ m}^3$$

Número de Trincheiras (NT)

$$NT = VH / VT$$

$$NT = 73.146 \text{ m}^3 / 1.202,4 \text{ m}^3$$

$$NT = \mathbf{61 \text{ trincheiras}}$$

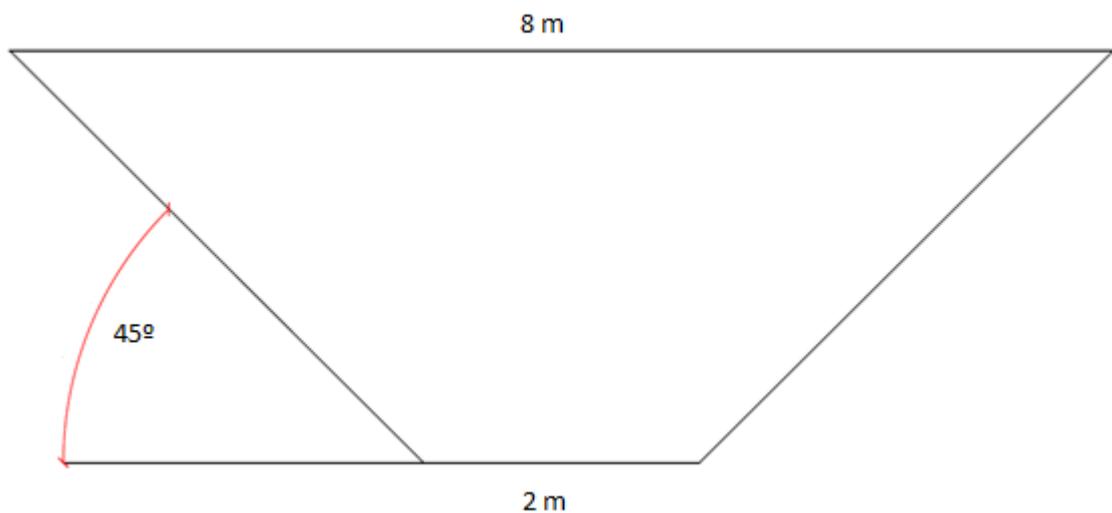
4.2.2 Comprimento médio das Trincheiras

Para o comprimento médio das trincheiras, foi baseado os limites impostos pela ABNT (2010), para facilitar a operação. As trincheiras possuem forma geométrica trapezoidal, com base maior (ba) de 8 m e base menor (be) 2 metros, altura de 3 metros para uma inclinação de talude de 1:1.

Comprimento Médio:

$$L = 1.202,4 / ((8+2)/2)*3 = 80 \text{ metros}$$

Sendo assim, a trincheira ficará com um comprimento de topo de 83 metros, base de 77 metros e inclinação das paredes de 1:1.



4.2.3 Volume de ocupação por trincheira (Vo)

Área da base maior

$$A (ba) = 83 * 8$$

$$A (ba) = \mathbf{664,00 \text{ m}^2}$$

Área da base menor

$$A (be) = 77 * 2$$

$$A (be) = \mathbf{154,00 \text{ m}^2}$$

$$V_o = \frac{3}{3} * (664 + (\sqrt{664 * 154}) + 154)$$

$$V_o = \mathbf{1137,77 \text{ m}^3}$$

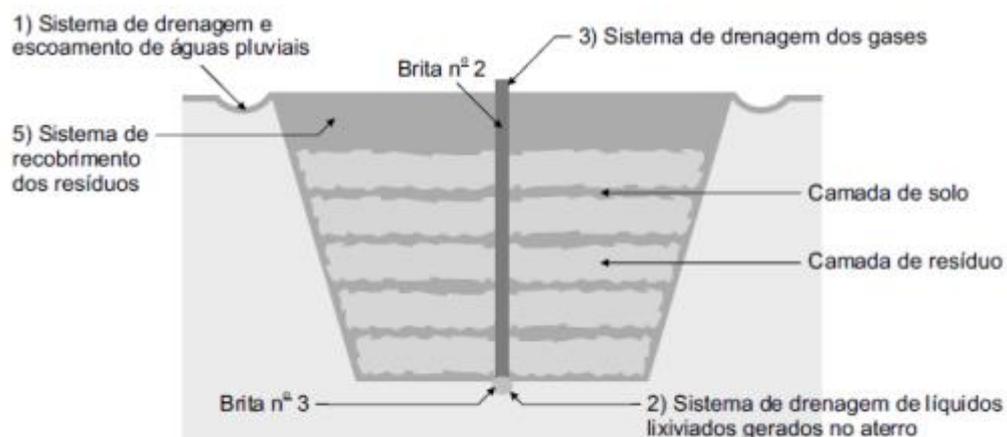
4.3 SISTEMA DE COBERTURA DOS RESÍDUOS

Com a função de evitar a proliferação de vetores, o sistema de cobertura busca diminuir a formação de chorume, reduzir odores e evitar a saída descontrolada de biogás.

Para tanto, ao final de cada dia, estipulou-se a cobertura diária de 15cm de espessura. A cobertura final terá 60cm de espessura, sofrendo ainda um processo de compactação que poderá ser feita com o rolo compactador manual.

Abaixo é apresentado uma figura com o corte esquemático da trincheira.

Figura 11 – Esquema trincheira



4.3 IMPERMEABILIZAÇÃO DAS TRINCHEIRAS

4.3.1 Cuidados e dimensionamentos da manta:

Para a sua execução *in loco*, a manta requer calor para que seja feito as suas emendas. É necessário que a base e laterais das trincheiras sejam devidamente limpas e regularizadas para que pedras ou materiais pontiagudos possam danificar e perfurar a manta.

Dimensionamento:

Para as dimensões da manta de uma trincheira, será adotado um comprimento de ancoragem de 1,5 metro de cada lado.

Comprimento da manta na direção da largura da trincheira:

$$2 \times \text{diagonal} + \text{largura fundo} + 2 \times \text{ancoragem} = 2 \times 4,24 + 2 + 2 \times 1,5 = 13,48 \text{ m}$$

Comprimento da manta na direção do comprimento da trincheira:

$$2 \times \text{diagonal} + \text{comprimento fundo} + 2 \times \text{ancoragem} = 2 \times 4,24 + 77 + 2 \times 1,5 = 88,48 \text{ m}$$

$$\text{Área da manta: } 88,48 \times 13,48 = \mathbf{1.192,71 \text{ m}^2}$$

4.4 SISTEMA DE DRENAGEM E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para o sistema de drenagem de escoamento superficial de um aterro para uma cidade de pequeno porte, a execução das canaletas podem ser feitas manualmente, na direção do fluxo das águas.

Utilizando o método racional:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Em que:

Q = vazão de pico em m³/s

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

I = intensidade de chuva

A = área total da bacia contribuinte (km²)

Para o cálculo do sistema de drenagem e escoamento superficial, foi necessário obter alguns dados referente à região de projeto, como a intensidade de chuva daquela região.

Através do software Plúvio, foi possível coletar alguns coeficientes para entrada na fórmula, como os valores K , a , b e c , conforme a figura 12 abaixo.



Pelo fato da cidade de Campinorte – GO não estar listada no programa, foi utilizado dados da cidade mais próxima, Porangatu – GO.

4.4.1 Intensidade de Chuva (i)

Valores:

$K = 1185,498$

$a = 0,1864$

$b = 12$

$c = 0,76$

De posse destes dados, podemos encontrar a intensidade de chuva na seguinte fórmula:

$$i = ((K * T^{R^a}) / ((T_c + b)^C)$$

Em que:

Tr = Tempo de retorno

Tc = Tempo de chuva

$$i = ((1185,498 * 5^{0,1864}) / (30 + 12)^{0,76})$$

$$i = 93,44 \text{ mm/h}$$

Período de retorno considerado: 5 anos

Tempo de duração de chuva: 30 minutos

O coeficiente C foi encontrado através da tabela

Tabela – Valores C para tempos de retorno

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)

Finalmente, com a formula racional, obtem-se a vazão de águas pluviais.

$$Q = (0,28 * (93,44/1000) * 100000) / 3600$$

$$Q = 0,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimensionamento do Canal

$$Q = A * V$$

Em que:

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal (m²);

S = Área da seção transversal molhada (m) = $\pi * D^2 / 8$

n = coeficiente de rugosidade das paredes que varia entre 0,011 e 0,04:

Adotado n = 0,013 para canais de concreto comum;

Rh = raio hidráulico (m)

i = declividade do canal (m/m)

Adotando-se que serão construídos canais de concreto adotando-se: i = 0,05 m/m n = 0,013 calculou-se o diâmetro para essas condições.

$$Q = 1/n * ((\pi * D^2)/8) * ((D^{2/3})/(4^{2/3}) * I^{1/2}$$

$$0,73 = \frac{1}{0,013} * (\pi * D^2 / 8) * ((D^{2/3}) / (4^{2/3}) * 0,05^{1/2}$$

Portanto, foi adotado um diâmetro comercial de 1000 mm para que a canaleta atenda à vazão solicitada.

Com a finalidade de interceptar e desviar o escoamento superficial das águas pluviais, esse sistema evita a infiltração na massa de resíduos.

4.5 SISTEMA DE DRENAGEM DE CHORUME

Dados:

K = 0,35 (Coeficiente utilizado normalmente para a densidade entre 400 e 500 kg/m³ dos resíduos).

Área do aterro (A):

Área de uma vala = $8,00 * 83,00 = 664,00 \text{ m}^2$

Área de 6 valas (1 ano) = $6 * 664 = 3.984,00 \text{ m}^2$

A Precipitação anual, segundo o site Climate (Online) é de 1714 mm

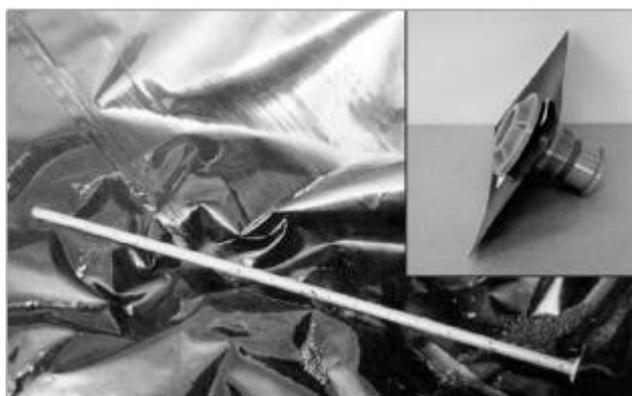
Tempo (t) = 31.536.000 segundos no ano

Logo, a vazão de lixiviados será dada por:

$$Q = (1/31.536.000) * 1714 * 3984 * 0,35 = \mathbf{0,076 \text{ L/s}}$$

Para o dimensionamento do dreno de lixiviado, pôde ser adotado o diâmetro de 50 mm, pois, mesmo sem utilizar as equações usuais de hidráulica, verifica-se que é suficiente. Uma vez que a vazão é baixa, é adequado adotar o menor diâmetro comercial.

As figuras 13 e 14 abaixo mostram, respectivamente, uma tubulação perfurada em meio à brita para a drenagem de lixiviado e o flange de passagem da tubulação em meio à manta de impermeabilização de PEAD.



Fonte: Online

4.6 SISTEMA DE DRENAGEM DE BIOGÁS

Para o cálculo da drenagem de biogás gerado no aterro, foi utilizado os mesmos dados nos dimensionamentos anteriores.

Segundo Rees (1980), pode ser aplicado a taxa de $0,4 \text{ m}^3$ de biogás para cada kg de resíduos. Neste caso, foram gerados cerca de $96,17 \text{ m}^3$

Baghi (1994) indica que seja instalado um dreno para cada 7.500 m^3 de resíduos.

Os drenos de gases devem previstos preferencialmente sobre a rede de drenagem de lixiviados, chegando a superfície no sentido vertical, configurando chaminés de exaustão.

Por se tratar de um aterro de pequenas dimensões, o gás gerado é pequeno demais para que se mantenha uma chama de queimador acesa. Por isso, não será projetado queimadores, tendo em vista que não é viável.

Como a produção de gás de um aterro sanitário tende à aumentar com o passar do tempo de sua vida útil, pode ser que seja preciso a elaboração de queimadores de gás para este aterro.

5 CONCLUSÃO

O aterro sanitário é a forma mais eficaz para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, além de também proporcionar o menor dano para o meio ambiente.

Apesar das vantagens e também da imposição do governo parece que sua implantação seja feita de forma obrigatória, boa parte dos municípios brasileiros não conseguem aderir à essa modalidade de disposição de resíduos. Muitas vezes, bons projetos são desenvolvidos, mas o baixo orçamento de cidades de pequeno porte faz com que esse assunto não seja levado como prioridade.

O presente trabalho visou apresentar todas as etapas de um projeto de um aterro sanitário. O aterro foi elaborado de forma fictícia, para a cidade de Campinorte, Goiás. Foram feitas análises populacionais e climatológicas da região, que proporcionaram a estimativa de toda a geração de resíduos durante o horizonte de projeto, tornando possível o dimensionamento geométrico final dos componentes do aterro.

De acordo com a ABNT (2010), o aterro pôde ser definido como de pequeno porte. Para esse tipo de aterro, a impermeabilização do terreno feita através de revestimento de geomembranas é dispensado, mas, mesmo assim, foi prevista no projeto as dimensões de uma manta de PEAD (polietileno de alta densidade) para reforçar que o solo não fosse infiltrado pelo líquido de lixiviado. A adesão dessa manta pode ser considerada de acordo com a disponibilidade de orçamento.

Através do método racional, foi possível calcular o sistema de drenagem e escoamento superficial do aterro. Esse sistema evita que a precipitação se junte ao líquido de chorume, aumentando consideravelmente seu volume e sobrecarregando assim o sistema de drenagem de lixiviados.

Por ser um aterro de pequeno porte, a produção de biogás oriundo da decomposição dos resíduos é muito pequena, o que dificulta na obtenção dos dados de geração. Isso fez com que o dimensionamento dos drenos de gás fosse realizado de forma empírica, em conjunto com o sistema de drenagem de chorume, dispensando o uso de queimadores de gás, uma vez que o gás produzido é incapaz de manter a chama do queimador aceso.

Este estudo se mostra de importância fundamental, já que foi projetado, em escala real, para um município onde é retratada a realidade de quase todos os municípios de pequeno porte do país, servindo assim como base para outros municípios semelhantes.

REFERÊNCIAS

SILVA, Lucas. **O LIXO E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL** Disponível em <http://paposustentavel1.blogspot.com.br/2011/03/o-lixo-e-revolucao-industrial-historia.html>. Acesso em 21 Mar. 2017.

RIBEIRO, Thiago. **O LIXO** Disponível em <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/o-lixo.htm>>. Acesso em 22 Mar. 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1985.

MACHADO, Gleysson. **ATERRO CONTROLADO**. Disponível em <http://www.portalresiduossolidos.com/aterro-controlado/> Acesso em 1 Abril 2017.

OBLADEN, Nicolau Leopoldo; BARROS, Kelly; OBLADEN, Neiva Terezinha. **GUIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS SANITARIOS PARA RESIDUOS SOLIDOS URBANOS**. 2. Ed. Curitiba, 2009.

LANZA, Vera Christina Vaz; CARVALHO, André Luciano. **ORIENTAÇÕES BASICAS PARA OPERAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO**. Belo Horizonte, 2006.

IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/> Acesso em 02 Abril 2017.

SERAFIM, Aline Camillo et al. **CHORUME, IMPACTOS AMBIENTAIS E POSSIBILIDADES DE TRATAMENTOS** <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Chorume-impactos-ambientais-e-possibilidades-de-tratamento.pdf> Limeira, 2003.

GONÇALVES, Odair Nunes. **Desafios e Alternativas para o tratamento de chorume em aterros sanitários** Disponível em <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/desafios-e-alternativas-para-o-tratamento-de-chorume-de-aterros-sanitarios> Acesso em 01 Abril 2017.

VON SPERLING, M. (1996). **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias)

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A (1995). **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, Cenergia, 2003.

MACEDO, Laura Valente et al. **Manual para aproveitamento do biogás**: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

Ministério do Meio Ambiente. Edital no 12 de 2001. Fomento a Projetos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. FNMA.

MONTEIRO, José Henrique Penido. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos** / coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, 2010.

GOMES, Luciana Paulo, 2009. **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras**. PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. ABES 2009

Ministério do Meio Ambiente. **Coleta Seletiva**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>
Acesso em 12 Abril 2017.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo – SP. Disponível em: <http://cempre.org.br/> . Acesso em: 15 Abril 2017.

http://www.secima.go.gov.br/arquivos/pers_versao_final_forum_de_residuos_solidos.pdf

Climate-Online <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/campinorte-43198/>

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

Bagchi, A. Design, Construction and Monitoring of Landfills. (1994)

7 ANEXOS