

ADAYL PEREIRA DUARTE FILHO

ANA PAULA MARTINS SILVA

**APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS DE
ATERROS SANITÁRIOS**

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

ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

DUARTE FILHO, ADAYL PEREIRA/ SILVA, ANA PAULA MARTINS

Aplicação de geossintéticos em obras de aterros sanitários

60P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Geossintéticos 2. Aterros Sanitários

3. Revestimento de aterros

4. Impermeabilização de aterros

I. ENC/UNI

II. Bacharel (10^o)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DUARTE FILHO, Adayl Pereira; SILVA, Ana Paula Martins. Aplicação de geossintéticos em obras de aterros sanitários. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 60p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Adayl Pereira Duarte Filho

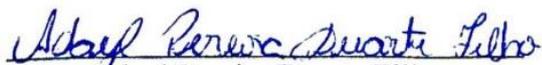
Ana Paula Martins Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Aplicação de geossintéticos em obras de aterros sanitários.

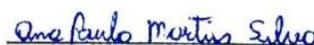
GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Adayl Pereira Duarte Filho

adaylpereiraduartefilho@gmail.com



Ana Paula Martins Silva

anapaulams14@gmail.com

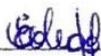
ADAYL PEREIRA DUARTE FILHO

ANA PAULA MARTINS SILVA

**APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM OBRAS DE
ATERROS SANITÁRIOS**

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

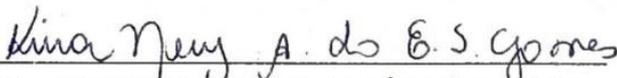
APROVADO POR:



EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



CARLOS EDUARDO FERNANDES, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADORA INTERNA)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de maio de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu quero deixar o meu profundo agradecimento a Deus, pelas inúmeras graças que tens derramado em minha vida, sem Deus nada eu seria, e nenhuma conquista possuiria, tudo que tenho vem de Deus, essa graduação e monografia é pela graça e o agir de Deus, pela sua presença que sinto ao longo da minha vida,

Quero agradecer a minha família, em especial a minha mãe Abadia Moreira de Queiroz Duarte e o meu pai Adayl Pereira Duarte pela seus incansáveis esforços em proporcionar o melhor estudo para mim, por serem a minha inspiração e o alicerce de minha vida, pelos ensinamentos, companheirismo, amizade, e dedicação. Amo muito vocês!

Quero agradecer a todos os meus amigos pela amizade, o companheirismo. Em especial aos amigos do Encontro Segue Me, do Ministério de Universidades Renovadas (MUR), do curso de Física Licenciatura da UEG, aos Missionários de Fátima, e as amigas do curso de Engenharia Civil da Uni EVANGÉLICA e todos os demais que com a sua particularidade e amizade contribuíram para que chegasse a está conquista

Quero agradecer ao MUR (Ministério de Universidades Renovadas), onde tive a graça de conhecer e participar deste Ministério através dos GOUs, os Grupo de Oração Universitário, que ao longo da minha carreira acadêmica, foi um caminho da graça de Deus em minha vida.

Quero agradecer a todos os meus professores, que são fonte de inspiração para mim, quero um dia ter a honra de ser colega de profissão de vocês, quero agradecer pelo empenho destes nesta grandiosa profissão de transmitir o conhecimento para as demais pessoas. “Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina” – Cora Coralina.

Palavras não é um meio capaz de expressar a minha gratidão por vocês.

Adayl Pereira Duarte Filho

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela sua infinita graça e pela oportunidade que me foi dada de concluir esta graduação.

Agradeço aos meus pais Ivonilda Martins de Andrade e Ilvan Martins Silva por serem exemplos em minha vida e por todo o apoio, dedicação e incentivo que contribuíram para eu chegar até aqui.

Meus agradecimentos a cada professor que tive durante esta fase de graduação e de forma especial ao nosso professor e orientador Eduardo Martins Toledo, por todo o conhecimento que nos foi passado.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta fizeram parte desta etapa da minha vida.

Ana Paula Martins Silva

RESUMO

Os geossintéticos são produtos fabricados a partir de materiais poliméricos, a natureza sintética desses produtos os torna próprios para uso em obras de terra onde um alto nível de durabilidade é exigido. Os geossintéticos incluem uma variedade de materiais, podendo desempenhar as seguintes funções: separação, filtração, drenagem, reforço, contenção de líquidos ou gases, controle de erosão e em certos casos, desempenhar simultaneamente várias funções, aumentando ainda mais suas aplicações. Neste trabalho conhecer-se-á um pouco mais sobre este produto que hoje se destaca pelo mundo todo, bem com as suas propriedades, funções e aplicabilidade em aterros sanitários. Por meio do website da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA), foi possível obter informações presentes no projeto executivo do Aterro Sanitário de Brasília e fazer um estudo sobre os principais materiais geossintéticos utilizados nesta construção, suas aplicações e funções desempenhadas. A aplicação de geossintéticos permite diminuir o volume total de uma célula de aterro, substituir ou complementar materiais convencionais, permitindo a redução de prazos de obras e a redução de custos comparados às soluções convencionais. A facilidade de aplicação, o baixo custo e a versatilidade destes materiais os torna materiais de construção atraentes, justificando assim o aumento progressivo da sua utilização.

Palavras-chave: geossintéticos, aterros sanitários, revestimento de aterros, impermeabilização de aterros.

ABSTRACT

Geosynthetics are products made from polymeric materials, the synthetic nature of these products makes them suitable for use in earthworks where a high level of durability is required. Geosynthetics include a variety of materials and can perform the following functions: separation, filtration, drainage, reinforcement, containment of liquids or gases, erosion control and in certain cases, simultaneously perform various functions, increasing their applications. In this work we will know a little more about this product that today stands out all over the world, its properties, functions and applicability in landfills. Through the website of the Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA), it was possible to obtain information on the project of the Landfill of Brasília and to study the main geosynthetics used in this construction, its applications and functions performed. The application of geosynthetics allows reducing the total volume of a landfill cell, to replace or complement conventional materials, allowing the reduction of construction schedules and the reduction of costs compared to conventional solutions. The ease of application, low cost and versatility of these materials make them attractive construction materials, thus justifying the progressive increase of their use.

Key-words: geosynthetics, landfills, landfill liner, landfill waterproofing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Disposição final dos RSU coletados no Brasil (T/ANO).	17
Figura 2- Lixão no município de Apiacá, Espírito Santo.	20
Figura 3- Aterro controlado de Presidente Prudente, São Paulo.	21
Figura 4- Aterro sanitário de Curitiba, Paraná.	22
Figura 5- Critérios da NBR 13896/ 1997 para seleção de áreas.	25
Figura 6- Sistema de drenagem do chorume.	27
Figura 7- Execução de poços de drenagem de gases.	28
Figura 8- Método da vala.	30
Figura 9 - Método da rampa.	31
Figura 10- Método da área.	31
Figura 11- Zoneamento das áreas de disposição de resíduos.	32
Figura 12- As sete funções que os geossintéticos são capazes de desempenhar de acordo com a NP EN ISO: (1) drenagem, (2) filtragem, (3) proteção, (4) reforço, (5) separação, (6) controle de erosão superficial e (7) barreira de fluidos.	36
Figura 13- Classificação dos geossintéticos.	38
Figura 14- Modelos de geossintéticos: (a) geotêxteis; (b) geogrelhas; (c) geomembranas; (d) geocompósito de drenagem; (e) geocélulas.	40
Figura 15- Exemplos de geossintéticos.	40
Figura 16- Plano de avanço do Aterro Sanitário de Brasília.	47
Figura 17- Materiais geossintéticos utilizados no Aterro de Brasília.	48
Figura 18- Elementos de drenagem subsuperficial do Aterro Sanitário de Brasília.	49
Figura 19- Geomembrana PEAD texturizada do Aterro Sanitário de Brasília.	50
Figura 20- Camada de impermeabilização do Aterro Sanitário de Brasília.	51
Figura 21- Ancoragem da geomembrana no dique.	52
Figura 22- Ancoragem da geomebrana na face interna do dique.	52
Figura 23- Efeitos da exposição de geomembranas à intempérie.	53
Figura 24- Detalhamento do dreno secundário de percolados na fundação do Aterro Sanitário de Brasília.	54

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTRS	Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos
DF	Distrito Federal
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IGS	Sociedade Internacional de geossintéticos
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
m	Metros
mm	Milímetros
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PL	Projeto de Lei
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Vinila
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLU	Serviço de Limpeza Urbana
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
KN	Kilonewton
KPa	Kilopascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 ATERROS SANITÁRIOS	16
2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
2.2 PANORAMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	18
2.4 FORMAS DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	20
2.4.1 Lixão a céu aberto	20
2.4.2 Aterro Controlado.....	21
2.4.3 Aterro sanitário	22
2.5 IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	23
2.5.1 Normas Técnicas.....	23
2.5.2 Licenciamento Ambiental.....	24
2.5.3 Projeto	24
2.5.3.1 Estudo da área	25
2.5.3.2 Elementos de projeto.....	25
2.5.4 Monitoramento	29
2.5.4.1 Monitoramento ambiental.....	29
2.5.4.2 Monitoramento geotécnico	30
2.6 OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	30
2.7 ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS	32
3 GEOSSINTÉTICOS.....	34
3.1 DEFINIÇÃO DE GEOSSINTÉTICO.....	34
3.2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS.....	34
3.3 FUNÇÕES DESEMPENHADAS PELOS GEOSSINTÉTICOS	36
3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS	37
3.5 PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS.....	40

3.5.1	Propriedades Físicas.....	41
3.5.1.1	Densidade relativa dos polímeros constituintes	41
3.5.1.2	Massa por unidade de área	41
3.5.1.3	Espessura nominal	41
3.5.1.4	Distribuição e dimensão das aberturas.....	42
3.5.2	Propriedades Mecânicas	42
3.5.2.1	Propriedades de Compressibilidade	42
3.5.2.2	Propriedades de tração	42
3.5.2.3	Resistência ao rasgamento	43
3.5.2.4	Resistência ao puncionamento	43
3.5.2.5	Atrito nas interfaces	43
3.5.3	Propriedades Hidráulicas	44
3.5.3.1	Permeabilidade à água normal ao plano - permissividade.....	44
3.5.3.2	Permeabilidade à água no plano - transmissividade	44
3.5.4	Propriedades Relativas à Durabilidade.....	44
3.5.4.1	Danificação durante à instalação.....	45
3.5.4.2	Abrasão	45
3.5.4.3	Fluência e rotura em fluência.....	45
3.5.4.4	Agentes de degradação físicos, químicos e biológicos	45
4	ESTUDO DE CASO: ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA	47
4.1	DRENAGEM SUBSUPERFICIAL	48
4.2	IMPERMEABILIZAÇÃO	50
4.3	DIQUES	51
4.4	DRENAGEM DE PERCOLADOS NA FUNDAÇÃO.....	53
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os resíduos sólidos representam um dos principais problemas ambientais. O país possui um histórico de manejo inadequado tanto para os resíduos urbanos quanto para os industriais. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), em 2017 foram produzidos 78,4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no país, sendo que 42,3 milhões de toneladas foram enviadas para aterros sanitários.

Embora a proibição de lixões seja tratada como uma medida legal nova, elaborada em 2010 pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na verdade ela data de 1981, onde a Política Nacional do Meio Ambiente define como crime: “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: [...] e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (BRASIL, 1981), entretanto sempre houve uma fiscalização ineficiente.

A PNRS, também estabeleceu que a destinação final de rejeitos, resíduos sólidos que não terão nenhuma utilidade e que não passarão por processos de reciclagem, deverão ser depositados de forma ambientalmente correta em aterros.

Das (2007) explica que os materiais do aterro interagem com a umidade das águas pluviais, produzindo o chorume, principal poluente do lençol freático, portanto, deve ser contido através de algum tipo de sistema de revestimento impermeabilizante. Com o objetivo de aumentar a durabilidade dos materiais, nas últimas décadas ocorreu o desenvolvimento de materiais poliméricos, que além do aspecto técnico, o seu uso se justifica em vista da facilidade de aplicação, rapidez de construção, redução significativa de custos e uma vez inserida a cultura dos geossintéticos em um local, dificilmente se retorna às soluções convencionais.

A NBR ISO 10318-1:2018 define os geossintéticos como produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, industrializados, desenvolvidos para desempenhar funções como: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial.

De acordo com Benjamin (2010), a utilização de geossintético não só garante uma economia a longo prazo para os aterros privados, como também aumenta a vida útil de utilização em aterros públicos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para um projeto de aterro sanitário, alguns elementos devem ser estudados para garantir que não se tenha impactos ambientais e danos à saúde da população, como por exemplo, a impermeabilização da fundação, drenagem do chorume, e a cobertura final do aterro. Em todos estes elementos alguns materiais como areia, argila e brita, são comumente utilizados, entretanto, alguns fatores como a dificuldade de trabalho em épocas chuvosas, o alto custo de materiais com características granulares, a dificuldade de exploração de novas jazidas, e a necessidade de soluções viáveis do ponto de vista econômico e ambiental fazem com que a utilização destes fiquem limitados.

Trazer para o centro das discussões materiais capazes de exercer a mesma função, e ter a mesma eficiência que os convencionais, se torna uma forma de solucionar esta limitação. Como alternativa, será abordado nesse trabalho a utilização de geossintéticos, que são materiais que apresentam algumas vantagens sobre as soluções tradicionais, como a possibilidade de trabalho em épocas com alta pluviosidade, a garantia de impermeabilização dos taludes, eliminação de exploração de jazidas, controle de qualidade em fábrica, além de gerarem uma economia na obra, o que acarreta em um melhor controle dos custos e do cronograma (BENJAMIN, 2010).

A versatilidade dos geossintéticos também oferece uma série de vantagens, já que podem ser utilizados em sistemas de drenagem, filtração, impermeabilização, auxílio na revegetação de coberturas de taludes, entre outras aplicações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal o aprofundamento do conhecimento relacionado aos aterros sanitários e a utilização de geossintéticos neste tipo de infraestrutura, bem com as suas propriedades, funções e aplicabilidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Expor a atual gestão de resíduos sólidos no Brasil e as formas existentes de disposição desses resíduos;

- Apresentar as fases de construção de um aterro;
- Estudar as funções e propriedades dos geossintéticos;
- Expor as formas de aplicações dos geossintéticos em obras de aterros sanitários.
- Realizar análise dos materiais geossintéticos que foram utilizados no Aterro Sanitário de Brasília, aterro de resíduos sólidos não perigosos, situado em Samambaia- DF.

1.3 METODOLOGIA

As fontes utilizadas para a elaboração desse trabalho são documentos e instituições ligadas à questões ambientais, como por exemplo, PNRS e Abrelpe. Também foram utilizados artigos, normas e livros relacionados à Engenharia Geotécnica, para a complementação das informações e estudo do material abordado neste trabalho, os geossintéticos.

Para compor o estudo de caso deste trabalho, foi analisado a construção do aterro de Brasília, a principal fonte de pesquisa utilizada para a obtenção das informações foi o website da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA), que por meio de um contrato com a Cepollina Engenheiros Consultores LTDA, disponibilizou o projeto executivo para a implantação da primeira etapa do Aterro Sanitário de Brasília, nomeado no projeto como Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos do Distrito Federal. Tal projeto engloba os seguintes documentos:

- 27 desenhos de projeto que apresentam o detalhamento dos elementos construtivos do aterro sanitário;
- Relatório final da elaboração do projeto executivo da implantação do CTRS- DF.

Ainda através do website foi possível ter acesso ao EIA/RIMA do Aterro Sanitário de Brasília, produzido pela Progea Engenharia e Estudos Ambientais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, que descrevem as etapas de elaboração desse estudo, são eles:

Capítulo 1- Introdução; onde é feita uma introdução ao tema do trabalho, definindo os objetivos gerais e específicos, e justificando a importância desse trabalho.

Capítulo 2- Aterros Sanitários; onde será abordado a gestão de resíduos no Brasil, as formas de dispor esses resíduos e as fases de construção de um aterro sanitário.

Capítulo 3- Geossintéticos; onde será apresentado os tipos de geossintéticos, as funções e suas propriedades.

Capítulo 4- Aterro Sanitário de Brasília; onde será exposto os materiais geossintéticos que foram utilizados para a construção do aterro sanitário;

Capítulo 5- Conclusão; onde será apresentado a conclusão desse trabalho.

2 ATERROS SANITÁRIOS

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos e semi-sólidos são resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo também nessa definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como líquidos cujo o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo de água é inviável. A já citada norma técnica também classifica os resíduos sólidos em:

Resíduos Classe I (Perigosos): Resíduos que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar risco a saúde pública ou ao meio ambiente, ou que apresentem características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Resíduos Classe II (Não Perigosos):

a) **Resíduos Classe II A (Não Inertes):** Resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou II B. Podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

b) **Resíduos Classe II B:** Resíduos que, quando amostrados de forma representativa e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada a temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção dos parâmetros, aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos classifica os resíduos quanto à origem e sua periculosidade:

I- Quanto à origem:

- a) Resíduos Domiciliares;
- b) Resíduos de Limpeza Urbana;
- c) Resíduos Sólidos Urbanos: resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- d) Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços;
- e) Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico;
- f) Resíduos Industriais;
- g) Resíduos de Serviços de Saúde;

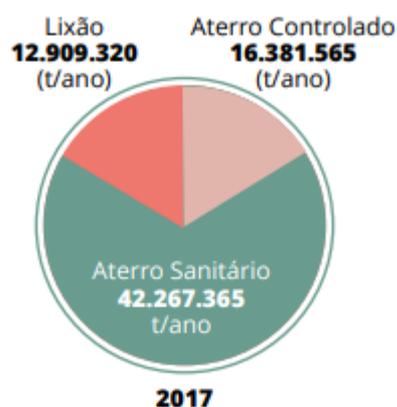
- h) Resíduos da Construção Civil;
 - i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
 - j) Resíduos de Serviços de Transportes;
 - k) Resíduos de Mineração;
- II- Quanto à periculosidade
- a) Resíduos Perigosos: aqueles que, apresentam risco à saúde pública ou à qualidade ambiental;
 - b) Resíduos não perigosos.

Segundo Massukado (2004), com a classificação dada pela NBR 10004 o gerador do resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do resíduo e a melhor alternativa de tratamento e disposição final.

2.2 PANORAMA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil teve como objetivo a criação de um mecanismo capaz de facilitar o acesso dos órgãos governamentais, das empresas públicas e privadas, das organizações não governamentais, entidades educativas, da imprensa e da sociedade em geral, às informações sobre os resíduos sólidos em seus diversos segmentos, que em muitos casos estão fracionadas ou desatualizadas (ABRELPE, 2018).

Figura 1- Disposição final dos RSU coletados no Brasil (T/ANO).



Fonte: ABRELPE, 2018.

Conforme a figura 1, os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de 78,4 milhões de toneladas no país, o que demonstra uma retomada no aumento em cerca de 1% em relação a 2016. Cerca de 40,9% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais de 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas (ABRELPE, 2017).

2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi promulgada pela Lei n. 12.305, de 5 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010. A PNRS apresenta o conceito de gestão integrada de resíduos sólidos como sendo um “conjunto de ações voltadas para busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010). A política Nacional de Resíduos Sólidos possui o objetivo de propor diretrizes gerais a serem observadas pelos Estados, Distrito Federal e municípios, sem retirar-lhes autonomia para suplementarem as diretrizes gerais (JARDIM; YOSHIDA; MACHADO FILHO, 2012).

A Lei n. 12.305 determinou a responsabilidade compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e responsáveis pela limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos sobre a minimização do volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, objetivando reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo da vida do produto.

Uma das inovações da PNRS foi diferenciar rejeitos de resíduos, conceituando rejeito como, “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

A PNRS também definiu como deveria ser feito a disposição final dos rejeitos, “disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

No art. 9º é estabelecida uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos: esta ordem leva em conta a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final de forma ambientalmente correta dos rejeitos. A Lei 12.305 também determina a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, visando à ordem de prioridade já citada (BRASIL, 2010).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de vinte anos, a ser atualizado a cada quatro anos, deve ter como conteúdo mínimo:

I- Diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos; II- Proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas; III- Metas de redução reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada; IV- Metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos; V- Metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; VI- Programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas; VII- Normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos; VIII- Medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos; IX- Diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico; X- Normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos; XI- Meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurando o controle social (BRASIL, 2010).

Estima-se que o custo operacional de manutenção de um aterro sanitário esteja em torno de um terço do custo de sua implantação, este fator acaba dificultando a implantação, e o funcionamento de um aterro sanitário em um município de pequeno porte sem o apoio dos estados, que são fundamentais na articulação do manejo de resíduos sólidos urbanos (JARDIM; YOSHIDA; MACHADO FILHO, 2012), dessa forma, a PNRS reconheceu que para a gestão efetiva dos resíduos sólidos é necessário a formulação dos Planos Estaduais e Regionais de Resíduos Sólidos, além do Plano Nacional, estes planos fazem parte de uma condição para se ter acesso a recursos da União.

Com a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a tarefa das prefeituras ganhou uma base mais sólida com princípios e diretrizes, os municípios passaram a ter a obrigação de

erradicar as áreas de lixões e a implantar a coleta seletiva de lixo reciclável nas residências, além de sistemas de compostagem para resíduos orgânicos (CEMPRE, 2018).

Em suma, a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos acarretou algumas transformações como, a elaboração de planos de metas por parte dos municípios e a erradicação dos lixões sendo substituídos por aterros sanitários, a implantação da reciclagem, reuso, compostagem e o tratamento do lixo com a coleta seletiva, tudo visando uma gestão integrada dos resíduos.

Apesar da PNRS ter estabelecido o prazo para a extinção dos lixões até 2014, desde 2015 é aguardado a aprovação do Projeto de Lei (PL) n. 2.289 de 2015, que prorrogará o prazo para a extinção dos lixões para 2021.

2.4 FORMAS DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

2.4.1 Lixão a céu aberto

A Abrelpe e ISWA (2017) conceitua o termo lixão a céu aberto ou simplesmente lixão como sendo o local no qual ocorre a disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, com algumas medidas bem limitadas de controle de operações e proteção do meio ambiente do entorno, é uma infraestrutura que não possui sistema de coleta do chorume, contaminando os recursos hídricos, nem do metano gerado, e não possui controle ou registro dos resíduos recebidos.

Figura 2- Lixão no município de Apiacá, Espírito Santo.



Fonte: Marcelo Prest, 2017.

Os lixões, representam ameaças significativas tanto para a saúde das pessoas envolvidas na sua operação e catadores que estão frequentemente presentes, sendo que muitos vivem dentro do lixão sem nenhum aparato de proteção como mostrado na figura 2, quanto para as pessoas que vivem no seu entorno. Os lixões são vetores de doenças com propagação de infecções por roedores, aves e insetos. Além dos impactos ambientais e na saúde da população, estima-se que o custo financeiro dos lixões chega a dezenas de bilhões de dólares (ABRELPE; ISWA, 2010).

Um lixão contém resíduos de muitas fontes e de diferentes tipos e composição, raramente é coberto ou compactado e a queima a céu aberto acontece com frequência, liberando grandes quantidades de carbono negro, o segundo principal poluente causador do aquecimento global (ABRELPE; ISWA, 2010).

2.4.2 Aterro Controlado

O aterro controlado é um tipo de sistema de disposição final de resíduos sólidos urbano no solo, na qual precauções tecnológicas adotadas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento com argila e grama, ajuda a evitar a proliferação de insetos e animais, e a aumentar a segurança do local, minimizando os riscos de impactos ambientais e à saúde pública. Embora seja uma técnica preferível ao lançamento a céu aberto, não substitui o aterro sanitário, o aterro controlado é uma solução compatível para pequenos municípios que não dispõem de equipamentos compactadores (BIDONE; SOARES, 2001).

Figura 3- Aterro controlado de Presidente Prudente, São Paulo.



Fonte: Wellington Roberto, 2016.

Apesar do aterro controlado minimizar os impactos ambientais, tal infraestrutura apresenta algumas falhas como, não impermeabilização da base e conseqüente contaminação do solo e do lençol freático pelo chorume. O aterro controlado é uma espécie de transição entre o lixão e o aterro sanitário, algumas das vantagens do aterro controlado são, a diminuição do mau cheiro e impacto visual, e a captação do biogás e sua queima.

2.4.3 Aterro sanitário

A NBR 8.419: 1992, define o aterro sanitário como:

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1992).

Segundo Albuquerque (2011), antes de se iniciar a disposição de lixo, o aterro sanitário têm o seu terreno preparado previamente com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila e mantas PVC, impermeabilizando o solo e protegendo o lençol freático de qualquer contaminação. A figura 4 está exemplificando a estrutura de um aterro sanitário.

Figura 4- Aterro sanitário de Curitiba, Paraná.



Fonte: Portal da Prefeitura de Curitiba, 2010.

Ainda segundo o autor, o aterro sanitário é um tratamento baseado em técnicas sanitárias de impermeabilização do solo, compactação e cobertura diária das células de lixo, coleta e tratamento de gases e do chorume, entre outros procedimentos técnico-operacional responsáveis por evitar a proliferação de ratos, moscas, exalação de mau cheiro, contaminação dos lençóis freáticos, surgimento de doenças e transtorno visual.

O aterro sanitário pode ser adaptado a qualquer tipo de comunidade, é caracterizado como umas das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, permitindo um controle eficiente e seguro do processo (VAN ELK, 2007).

Os aterros sanitários necessitam de técnicas da engenharia e tecnologia para evitar danos ao meio ambiente e à saúde pública e passa por monitoramento constante para evitar vazamentos, e como forma de aumentar a vida útil do aterro sanitário, é realizado a coleta seletiva do lixo.

Para a abertura de um aterro sanitário vários aspectos devem ser levados em conta como, a escolha da área, elaboração do projeto, licenciamento ambiental, limpeza do terreno, obras de terraplanagem, acessos, impermeabilização, drenagem e obras de construção civil. Trataremos na próxima seção sobre esses aspectos.

2.5 IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

2.5.1 Normas Técnicas

Um projeto de aterro sanitário deve ser elaborado segundo as diretrizes instituídas pelas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A NBR 8419/NB 843 estabelece critérios para a escolha dos elementos de projeto dos aterros que recebem os resíduos sólidos classificados em Classe II, não perigosos, esses elementos são constituídos pelos sistemas de impermeabilização, monitoramento, sistemas de drenagem, organização de células especiais que receberão outros tipos de resíduos, que não os urbanos, manual de operação do aterro e definição do uso futuro da área após o encerramento das atividades (VAN ELK, 2007).

Outras normas técnicas que também orienta no projeto de aterros sanitários são:

- NBR 10157/NB 1025- “Apresentação de projetos de aterros de resíduos perigosos- Critérios para projeto, construção e operação”.
- NBR 13896- “Apresentação de projetos de aterros de resíduos não perigosos- Critérios para projeto, implantação e operação- Procedimento”.

2.5.2 Licenciamento Ambiental

Além de seguir as normas técnicas estabelecidas pela ABNT, todo aterro antes de sua implantação deve obter licenças ambientais.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe as seguintes resoluções:

- Resolução CONAMA 01/1986- Resolução que define os critérios para Avaliação de Impacto Ambiental e as atividades que necessitam do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), relatório técnico destinado a identificar os impactos de um projeto e suas consequências, e também é necessário o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), documento que reuni as conclusões do EIA.
- Resolução CONAMA 237/1997- Aborda a regulamentação dos aspectos do Licenciamento Ambiental estabelecidos pela Política Nacional do Meio Ambiente.
- Resolução CONAMA 308/2002- Trata do Licenciamento Ambiental de estruturas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte.

Seguindo as diretrizes dessas resoluções deve ser requerido a Licença Prévia (LP), que é obtida com a apresentação do projeto básico, observando a adequação da localização e a viabilidade do aterro. Após o EIA e o RIMA serem aprovados e o projeto executivo elaborado, é solicitado a Licença de Instalação (LI), que permite o início da obra do aterro sanitário. Se a obra for implantada conforme o projeto licenciado pelo LI, após a sua conclusão é solicitado a Licença de operação (LO), que permite o início da operação do aterro sanitário (VAN ELK, 2007).

2.5.3 Projeto

Na primeira fase de um projeto de aterro sanitário é levantado informações sobre a produção per capita de resíduos pelo município, os tipos de resíduos e os serviços de limpeza que são executados na cidade. A segunda fase se refere à escolha da área, nesta fase deve ser levado em conta a topografia, estrutura geológica e geotécnica, clima e a utilização do solo e água na região. No projeto deve ser apresentado a justificativa para a escolha dos elementos que compõe o aterro sanitário como a drenagem das águas pluviais, a impermeabilização das camadas superiores e inferiores, a drenagem e o tratamento de percolados e gases (VAN ELK, 2007).

Ainda segundo a autora, no projeto também deve estar antevisto a forma que se utilizará a área após o encerramento das suas atividades.

2.5.3.1 Estudo da área

Para a escolha da área, a NBR 13896/1997 estabelece alguns critérios que estão listados na figura abaixo.

Figura 5- Critérios da NBR 13896/ 1997 para seleção de áreas.

Atributos	Considerações Técnicas
Topografia	Declividade superior a 1% e inferior a 30%.
Geologia e tipos de solos existentes	É desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s; É desejável uma zona não-saturada com espessura superior a 3,0 m.
Recursos Hídricos	Deve ser localizado a distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Vegetação	Estudo macroscópico da vegetação.
Acessos	Devem permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
Tamanho disponível e vida útil	Fatores inter-relacionados. Recomenda-se a vida útil de 10 anos.
Custos	Determinam a viabilidade econômica do empreendimento.
Distância mínima de núcleos populacionais	Recomenda-se que seja superior a 500 m.
Áreas sujeitas à inundação	O aterro não deve se localizar em áreas sujeitas à inundação, em períodos de recorrência de 100 anos.

Fonte: ABNT, 1997.

Segundo Castilhos Junior (2003), da análise equilibrada e da inter-relação de todos esses critérios, surgirão alternativas para a alocação coerente de áreas para a implantação de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e para a sua gestão no âmbito municipal. A crescente urbanização das cidades, associado a uma ocupação intensiva do solo, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões requeridas para se implantar um aterro sanitário que atenda às necessidades dos municípios.

2.5.3.2 Elementos de projeto

Deve estar contido em um projeto de aterro sanitário elementos de captação, drenagem e tratamento dos lixiviados e biogás e impermeabilização inferior e superior. Para que a obra seja segura e ambientalmente correta, esses elementos devem ser bem executados e

monitorados refletindo na vida útil do aterro e na saúde da população do entorno da estrutura (VAN ELK, 2007).

- Sistema de drenagem das águas superficiais

A função do sistema de drenagem das águas superficiais é evitar a entrada descontrolada de água no aterro, impedindo o aumento do volume de lixiviados e o início de um processo erosivo (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

- Sistema de impermeabilização de fundo e de laterais

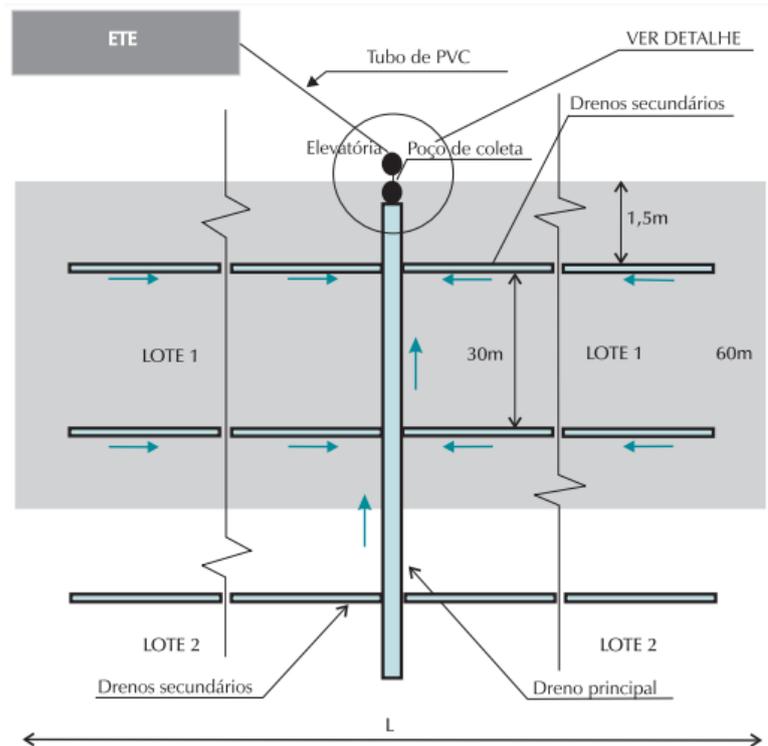
A impermeabilização de fundo ou de base tem a função de proteger a fundação do aterro, impedindo a contaminação do solo e aquíferos existentes com a migração do chorume (CEMPRE, 2018). No Brasil a exigência mínima para a contenção de percolados classificados em não- perigosos é de que a impermeabilização de fundo e lateral consista em uma camada de argila compactada ou de solos argilosos, ou a utilização de geomembranas sintéticas de alta densidade (PEAD), que apresentam características como boa durabilidade, resistência mecânica e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados (VAN ELK, 2007).

- Sistema de drenagem dos lixiviados

O chorume, também conhecido como lixiviado ou percolado, se origina na degradação dos resíduos. A formação de chorume é inevitável, deste modo deverá ser previsto um sistema de drenagem dos lixiviados, não sendo admissível sua coleta e descarga em cursos d'água fora dos padrões normalizados (CEMPRE, 2018).

Conforme detalhado na figura 6, a drenagem dos lixiviados pode ser efetuada por meio de drenos, que são tubos perfurados e preenchidos com brita, implantados sobre a camada de impermeabilização inferior, projetados em forma de espinha de peixe, com drenos secundários conduzindo o chorume coletado para um dreno principal que irá levá-lo até um poço de reunião, de onde será bombeado para a estação de tratamento.

Figura 6- Sistema de drenagem do chorume.



Fonte: IBAM, 2001.

- Sistema de tratamento de lixiviados

O tratamento dos lixiviados pode ser feito das seguintes maneiras, através da recirculação do chorume para o interior da massa de resíduos; tratamentos em lagoas de estabilização, onde as bactérias aeróbicas ou anaeróbicas biodegradam a matéria orgânica do percolado; tratamentos químicos, como a neutralização, precipitação e oxidação; tratamento por filtros biológicos, que consiste na descarga contínua ou intermitente de despejos poluídos através de um meio biológico ativado; tratamento em estações de tratamento de esgoto, onde são tratados juntamente com os esgotos doméstico (CEMPRE, 2018).

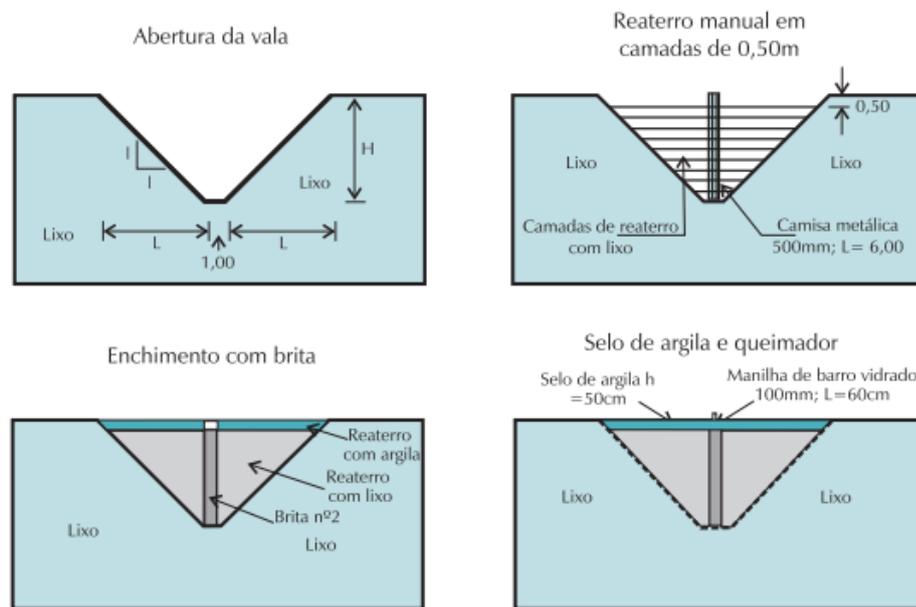
- Sistema de drenagem dos gases

A captação dos gases deve ser feita por meio de uma rede de drenagem apropriada, evitando que aconteça o vazamento dos gases através do subsolo e que atinjam fossas, esgotos e até edificações (CEMPRE, 2018).

Segundo o IBAM (2001), o sistema de drenagem de gases consiste em tubos verticais de concreto armado, envolvidos por brita ou rachão. Existem dois métodos de se

executar os drenos de gás: subindo o dreno à medida que o aterro vai evoluindo ou escavar a célula encerrada para implantar o dreno, deixando uma guia para quando se aterrar em um nível mais acima, como mostrado na figura 7. O sistema de drenagem de gases deve ser vistoriado permanentemente, de forma a manter os queimadores sempre acesos, principalmente em dias de vento forte.

Figura 7- Execução de poços de drenagem de gases.



Fonte: IBAM, 2001.

- Cobertura intermediária e final

A camada de cobertura tem a finalidade de proteger a superfície das células de lixo. A camada diária consiste na utilização de solo ou de materiais geossintéticos, para cobertura dos resíduos no final de cada jornada de trabalho, a presença de uma cobertura evita o espalhamento de materiais leves e a presença de vetores propagadores de doenças, como roedores ou insetos (CEMPRE, 2018).

O sistema de cobertura final deve apresentar resistência à erosão e às intempéries, de forma a evitar a infiltração de águas pluviais, e deve ser adequada para o uso futuro da área. A utilização de uma camada de vegetação na superfície da cobertura é altamente indicada, pois diminui o potencial de água infiltrado no aterro, além de contribuir na prevenção de erosão e deslizamento do solo (MACIEL, 2003).

- Componentes complementares

Os aterros também necessitam de elementos complementares para o seu funcionamento como cercas, pois não é permitido a entrada de animais e pessoas, pavimentação interna transitável, vegetação ao redor do aterro, controle de entrada e saída de veículos, sistemas de controle de quantidade e tipo de resíduo, escritórios, sistema de comunicação, oficina de manutenção, locais para guardar equipamentos, sistemas de iluminação noturna, banheiros, refeitórios, identificação do local e acesso às frentes de aterramento (VAN ELK, 2007).

2.5.4 Monitoramento

O monitoramento tem a função de identificar em estágio inicial os impactos ambientais negativos causados pela implantação do aterro sanitário, possibilitando a tomada de medidas que minimizam tais impactos antes que estes assumam grandes proporções. O monitoramento é necessário durante a operação e após o encerramento das atividades do aterro sanitário (CEMPRE, 2018).

Tal sistema é constituído pelo monitoramento ambiental e monitoramento geotécnico, e são fundamentais para que o meio ambiente seja preservado, no bom funcionamento dos sistemas de drenagem de percolados e gases, na qualidade da saúde da população do entorno, na segurança da obra, e ajuda a evitar processos erosivos e instabilidade dos taludes.

2.5.4.1 Monitoramento ambiental

Segundo Van Elk (2007), o monitoramento ambiental compreende:

- O controle da qualidade das águas superficiais;
- O controle da qualidade das águas subterrâneas;
- A fiscalização da estação pluviométrica em grandes aterros;
- O controle da qualidade do chorume após o tratamento;
- O controle da descarga de líquidos lixiviados no sistema de tratamento.

2.5.4.2 Monitoramento geotécnico

O monitoramento geotécnico consiste em (CEMPRE, 2018):

- Controle de deslocamentos horizontais e verticais;
- Controle do nível de percolado e pressão de biogás no corpo do aterro;
- Controle da descarga de percolado através dos drenos;
- Inspeções periódicas, buscando-se indícios de erosão, trincas, entre outros.

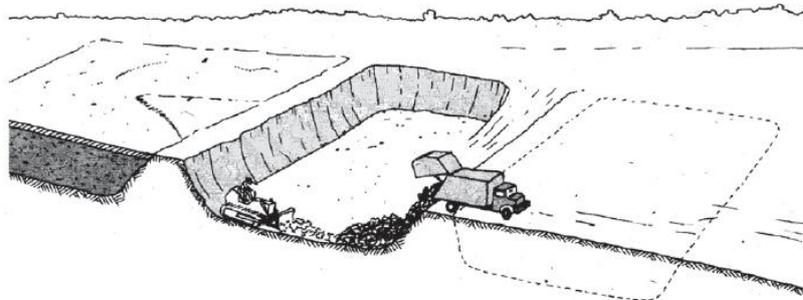
2.6 OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Concluída a implantação do aterro sanitário e com a licença de operação (LO) emitida, é iniciada a fase de recebimento de resíduos no aterro, obedecendo a um plano operacional já elaborado. Segundo Castilhos Junior (2003), o plano operacional deve contemplar todas as atividades rotineiras de um aterro e garantir operação segura e contínua. Um processo operacional inadequado pode tornar um aterro em um lixão em pouco tempo.

Existem três métodos para a construção de um aterro sanitário, método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área. Para a escolha do método deve ser avaliado as características físicas e geográficas, além da quantidade de resíduos que serão dispostos na área.

O método da trincheira ou vala, consiste na abertura de valas onde serão dispostos os resíduos, compactados e posteriormente cobertos com solo, as valas podem ser pequenas ou de grandes dimensões (CEMPRE, 2018).

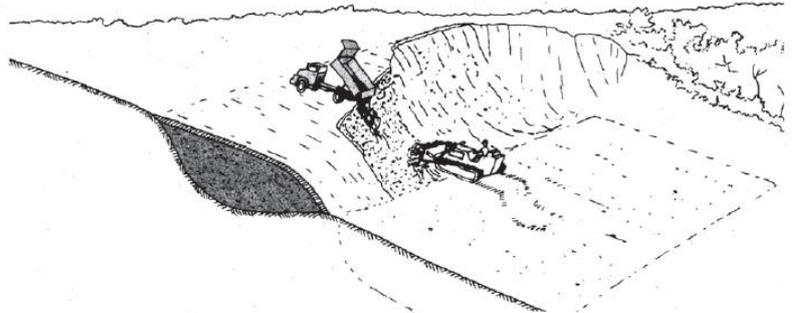
Figura 8- Método da vala.



Fonte: CEMPRE, 2018.

O método da rampa é indicado quando a área a ser aterrada é plana, seca e com um tipo de solo adequado para servir de cobertura (IBAM, 2001), já o método da área geralmente é empregado em locais de topografia plana e lençol freático raso (CEMPRE, 2018).

Figura 9 - Método da rampa.



Fonte: CEMPRE, 2018.

Figura 10- Método da área.



Fonte: CEMPRE, 2018.

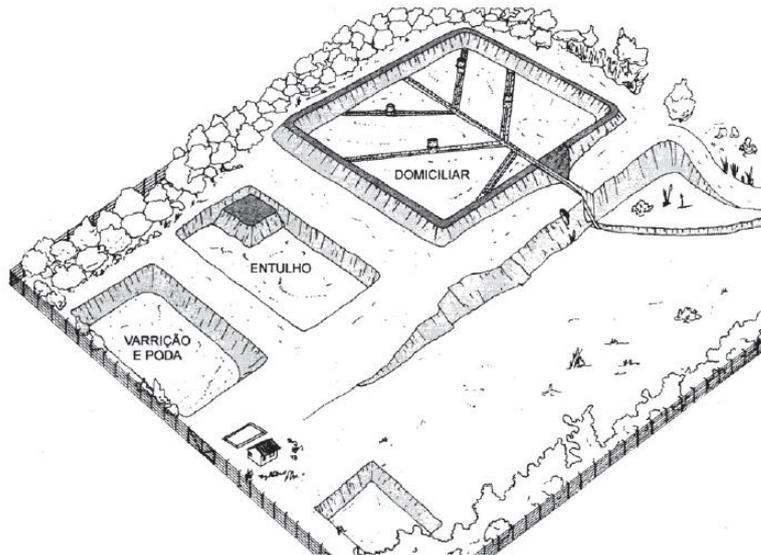
Segundo o IBAM (2001), as regras básicas para a execução de um aterro são:

- A altura da célula deve ser de quatro a seis metros para que ocorra a composição da massa de resíduos em melhores condições;
- A inclinação de taludes operacionais recomendadas é a de um metro de base para cada metro de altura em células em atividades e de três metros de base para cada metro de altura em células já encerradas;
- Uma nova célula deverá ser instalada no dia seguinte em continuidade à que já foi concluída no dia anterior;
- A execução de uma célula em sobreposição à outra ou o recobrimento final do lixo só deverá acontecer após um período de cerca de 60 dias;

Independente do método seguido, os procedimentos para a execução da obra são quase os mesmos.

Os procedimentos de operação de um aterro sanitário deve ter uma sequência lógica. O caminhão de lixo deve ser pesado em balança rodoviária antes e depois da descarga, para que se tenha o controle do volume de resíduos que é disposto no aterro diariamente ou mensalmente. O descarregamento do caminhão de lixo deve ser realizado em praças de manobra e os resíduos deverão ser classificados e dispostos nos locais estabelecidos pelo zoneamento do aterro sanitário (CEMPRE,2018).

Figura 11- Zoneamento das áreas de disposição de resíduos.



Fonte: CEMPRE, 2018.

O espalhamento do lixo nas células deverá ser feito por um trator de esteiras, em camadas de 50 cm, seguido da sua compactação por, pelo menos, três passadas consecutivas do trator. O cobrimento do topo da célula, deverá ter caimento de 2% na direção das bordas, e o dos taludes internos deverá ser de uma espessura de 20 cm de solo, o cobrimento dos taludes externos será de argila, na espessura de 50 cm (IBAM, 2001).

Quando ocorrer o encerramento de uma célula, deverá ser executado o dreno de gás. O enchimento das células sempre deverão seguir essa sequência de operações.

2.7 ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

Quando esgotada a capacidade do aterro de receber carga, a cobertura final deverá ser complementada de maneira a evitar o surgimento de vetores de doenças e a percolação indevida de líquidos e gases, também deverá ser plantado gramas nos taludes definitivos como forma de evitar um processo erosivo.

A Norma Técnica 13896 da ABNT de 1997, exige que o monitoramento do aterro continue por no mínimo mais 20 anos, enquanto os líquidos e o biogás apresentarem potencial poluidor.

Os locais de aterros sanitários encerrados deverão ser usados preferencialmente para áreas de recreação comunitária e deverão ser evitadas grandes construções, sobretudo para moradias (CEMPRE, 2018).

3 GEOSSINTÉTICOS

3.1 DEFINIÇÃO DE GEOSSINTÉTICO

Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), o geossintético é um material polimérico natural ou sintético, empregado em contato com materiais naturais como solos ou rochas, ou em qualquer outro material geotécnico, com aplicações na Engenharia Civil (LOPES, 2010).

3.2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

Conforme *Vertematti et al. (2004)*, a aplicação de materiais naturais para potencializar a qualidade do solo é prática comum desde 3000 a.C. No qual materiais vegetais formados por fibras e telas, estivas de junco e solos misturados com palhas foram empregados para reforçar o solo durante a edificação dos templos (denominados de zigurates) da Mesopotâmia na Grande Muralha da China e em diversas obras do império Romano, para a estabilização e melhoramento dos solos.

Carneiro (2009), afirma que a primeira referência de aplicação de tecidos na construção civil data no ano de 1926, quando foram empregados no reforço de pavimentos de estradas nos Estados Unidos.

Ainda segundo o autor, os geossintéticos só passaram a ser usados de forma sistemática no meio do século XX, com a produção comercial dos seguintes polímeros pela indústria Têxtil: PVC em 1934; Poliamida em 1940; Poliéster em 1949; Polietileno (baixa resistência) em 1949; Polietileno (alta resistência) em 1954; Polipropileno no final da década de 50.

Apresenta-se a seguir os principais acontecimentos (desenvolvimentos e aplicações) ocorridos ao longo dos anos no Brasil e no mundo conforme *Vertematti et al. (2004)*.

- Anos 50

Inicia-se as primeiras aplicações de geotêxteis tecidos como componente de filtro para proteção antierosiva em obras hidráulicas. Em alguns países, em especial na Holanda, foram empregados através do Projeto Delta, 10 milhões de metros desses tecidos para recuperação de um desastre natural que ocasionou o rompimento de inúmeros diques, inundando diversas áreas e vitimizando 1850 pessoas. Nos Estados Unidos, na Alemanha e no Japão foram aplicados os geotêxteis tecidos para o controle de erosões marítimas.

- Anos 60

Em 1966, nos Estados Unidos ocorre a primeira aplicação de geotêxteis não tecido em recapeamento asfáltico.

Em 1967, no Japão foram aplicadas georredes em obras de reforço de aterros em solos moles, levando ao surgimento das geogrelhas.

Em 1968, iniciaram as primeiras aplicações dos geotêxteis não tecido com a função de separar e reforçar materiais de propriedades físicas mecânicas divergentes em obras viárias e controles de erosão na Europa.

- Anos 70

Surgem inúmeras aplicações de geotêxteis em reforço de grandes aterros sobre solos de baixa capacidade de suporte e barragens, utilizados como elemento prolongador da vida útil de recapeamentos asfálticos e superestruturas ferroviárias e em camadas múltiplas em taludes e muros de contenção.

Em 1971, iniciam as primeiras aplicações de geossintéticos no Brasil, principalmente na construção de rodovias, e também a fabricação do primeiro geotêxtil não tecido de filamentos contínuos vendido comercialmente em 1973. Vários grupos técnicos de trabalho foram criados na França, Alemanha e EUA para desenvolver normas específicas.

- Anos 80

Ocorreu a criação da IGS, Sociedade Internacional de Geossintéticos, e também aconteceram diversos eventos internacionais na área de estudo e o surgimento de diversos métodos de dimensionamento de geossintéticos. No Brasil é criada a Comissão de Estudos de Geossintéticos pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, além da formação da Abint. Também se iniciou a fabricação dos geotêxteis tecidos no Brasil e ocorreu a primeira aplicação de geomembrana nacional na Alcoa de Alumínio Maranhão, com a instalação de mais de quinhentos mil metros quadrados em lagoas de rejeito de bauxita.

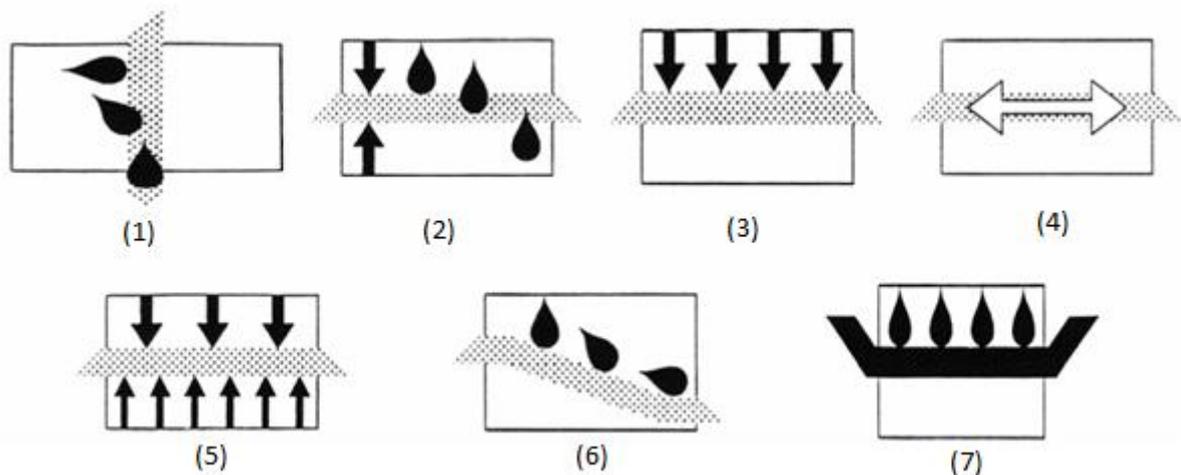
- Anos 90

O impulso gerado pelos estudos teóricos apresentados, de casos históricos e novas aplicações, desencadeou o surgimento de diversos produtos e usos que ao se combinarem têm gerado inúmeras novas utilizações importantes.

3.3 FUNÇÕES DESEMPENHADAS PELOS GEOSSINTÉTICOS

Conforme Carneiro (2009), os geossintéticos possuem uma grande variedade de materiais, que através do seu processo de fabricação e das combinações de matérias primas empregadas em sua confecção, conferem a cada geotêxtil as suas propriedades e características que propiciam as funções que o produto está apto a exercer. Os geossintéticos são capazes de exercer mais de uma função simultaneamente.

Figura 12- As sete funções que os geossintéticos são capazes de desempenhar de acordo com a NP EN ISO: (1) drenagem, (2) filtragem, (3) proteção, (4) reforço, (5) separação, (6) controlo de erosão superficial e (7) barreira de fluidos.



Fonte: SILVA, 2016.

De acordo com a figura 12, as principais funções dos Geossintéticos são:

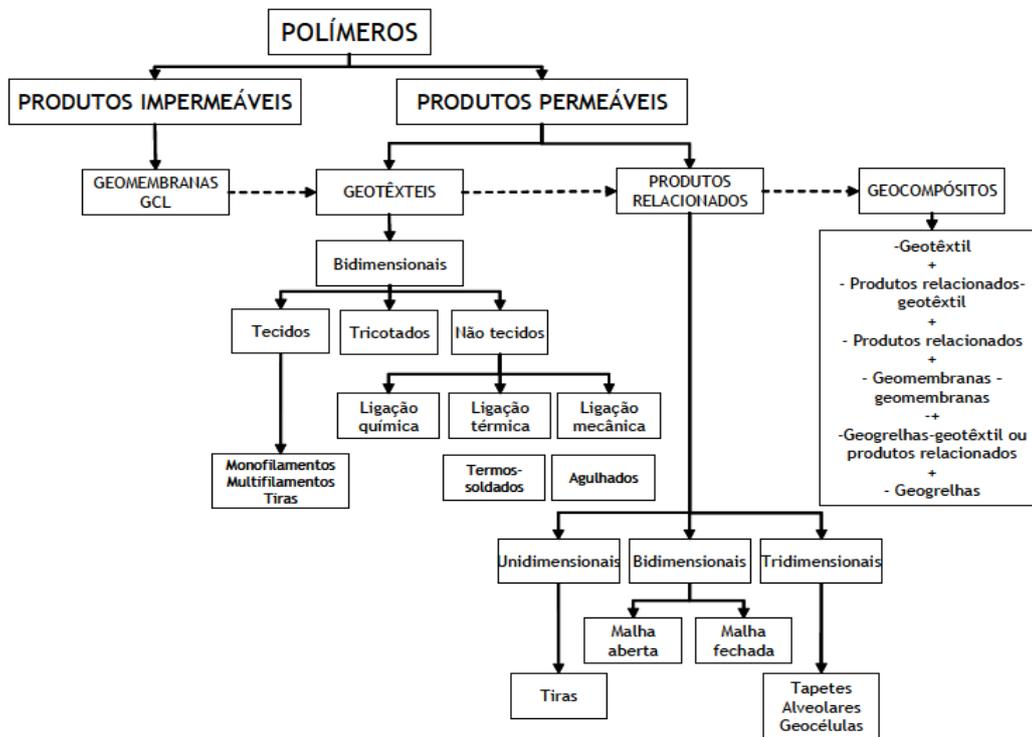
- Drenagem: O material geotêxtil através da sua estrutura física, coleta e conduz fluído ao longo do seu plano. Os geossintéticos a ser empregados nesta função devem possuir a abertura da sua malha em dimensões que impeçam a passagem de sólidos e permitam o fluxo dos fluídos.
- Filtração: O geotêxtil através de sua estrutura física retém as partículas sólidas presentes no solo, permitindo a passagem dos fluídos. Os geossintéticos devem ter a exata dimensão de sua abertura para desempenhar esta função e também dispor uma boa flexibilidade permitindo um bom ajuste com o solo envolvente.
- Proteção: O geotêxtil ao ser colocado em adjacência com outro elemento tem a função de limitar ou prevenir danos mecânicos, abrasivos, puncionamentos e rasgos.

- **Reforço:** O geossintético através de suas propriedades mecânicas atua no sentido de reforçar a estrutura geotécnica na qual está inserido. Os geossintéticos exercitam a função de reforço basicamente em duas situações: quando são colocados entre duas camadas sujeitas a pressões diferentes, e a sua tensão equilibra a diferença de pressão entre essas camadas, conduzindo ao reforço global, e quando são colocados no interior de maciços para suportar as tensões de tração, aumentando a capacidade global da estrutura para resistir a esforços deste tipo. Esta função requer que os geossintéticos possuam propriedades mecânicas adequadas tanto no momento da aplicação, como durante o tempo de uso.
- **Separação:** O geossintético é disposto entre materiais de naturezas diferentes, impedindo a sua mistura e interpenetração, mantendo as suas características originais.
- **Controle de Erosão Superficial:** Consiste na utilização de um geossintético para evitar ou limitar os movimentos de solo ou outras partículas na superfície dele, prevenindo assim uma erosão superficial das partículas do solo, devido ao escoamento superficial do fluido presente no solo. Esta função pode estar sendo desempenhada de forma provisória usando geossintéticos biodegradáveis até a consolidação da estrutura, por exemplo, pelo crescimento da vegetação, ou de forma permanente, por exemplo, para prevenir a erosão costeira.
- **Impermeabilização ou Barreira de Fluidos:** Essa função consiste na utilização de um geossintético impermeável e contínuo (com uma correta ligação entre as diferentes porções de materiais) para evitar o fluxo de fluidos, gases e líquidos. Portanto o material empregado deve ser resistente a ataques químicos e dispor de um correto manuseio durante o seu transporte e aplicação.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

De acordo com Silva (2016), os variados tipos de geossintéticos podem ser classificados de acordo com suas diferenças estruturais existentes entre os diversos materiais empregados na confecção dos mesmos e os diferentes tipos de fabricação. De acordo com a figura 13, os geossintéticos podem ser classificados em três grupos: geotêxteis, geomembranas e produtos relacionados. Este último inclui as georredes, as geogrelhas, os geocompostos e todos os demais geossintéticos.

Figura 13- Classificação dos geossintéticos.



Fonte: MOREIRA, 2019.

De acordo com Silva (2016), os principais tipos de geossintéticos são:

- **Geotêxteis:** Constituem um dos dois grandes grupos de geossintéticos, caracterizados por serem materiais permeáveis e em forma de manta flexível, formados por polímero e podem ser classificados, dependendo do tipo de fabricação, em tecidos, não tecidos e tricotados. Podem ser empregados em diversas aplicações, desempenhando ao menos uma das seguintes funções: proteção, reforço, separação, filtragem ou drenagem.
- **Geomembranas:** As geomembranas são materiais poliméricos planos com baixa permeabilidade e devido a esta característica compõe o outro grande grupo de geossintéticos; estes materiais podem ter uma superfície lisa ou rugosa (texturizada) e podem ser fabricadas por extrusão, espalhamento superficial ou calandragem. A principal função das geomembranas é a retenção de fluídos (líquidos e gases). As geomembranas podem ser utilizadas em diversas aplicações como em obras de engenharia ambiental, geotécnica, hidráulica ou de transportes.

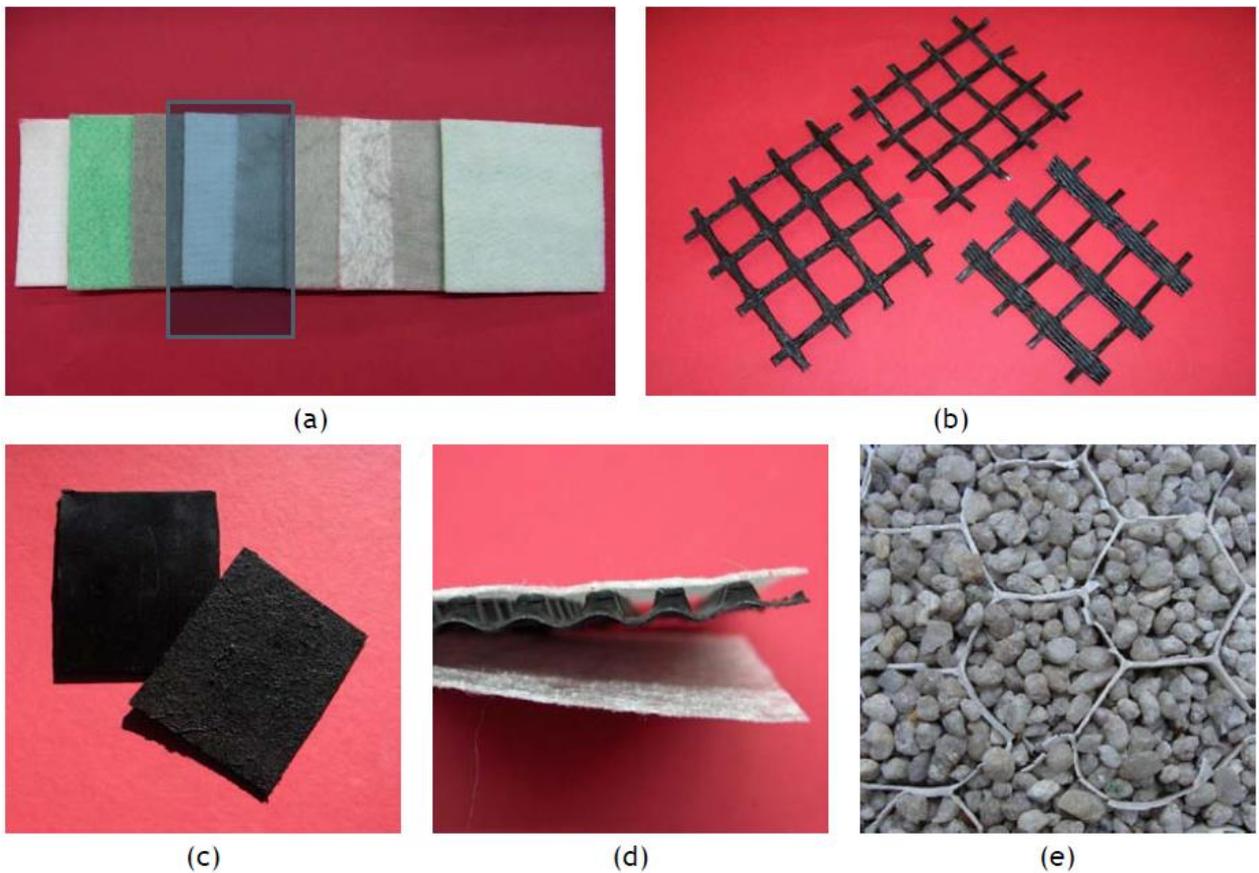
- **Geogrelhas:** As geogrelhas são materiais poliméricos planos com uma estrutura aberta de elementos ligados e cruzados entre si, geralmente as aberturas das geogrelhas são maiores que os elementos sólidos que as compõe. Conforme o processo de fabricação que lhes está associado pode ser nomeado de: extrudidas, tecidas ou soldadas a laser. As geogrelhas podem ser aplicadas em diversas áreas desempenhando a função principal de reforço.
- **Georredes:** As georredes são materiais poliméricos planos com uma malha densa e de forma regular, as geogrelhas possuem a sua estrutura aberta, manufaturada por extrusão do polímero fundido através das aberturas existentes nos moldes rotativos, dando deste modo origem a malhas ou redes de barras apertadas. A separação entre as georredes e as geogrelhas não se deve à estrutura, mas sim com a função que os materiais desempenham. As geogrelhas geralmente são empregadas em funções de drenagem de líquidos ou de gases.
- **Geocompósitos:** Os geocompósitos são formados pela combinação de diferentes materiais, em que pelo menos um deles seja geossintético. A classificação dos geocompósitos varia conforme a função que estes vão desempenhar. Dentre os geocompósitos mais comuns destacam-se os geocompósitos betoníticos, geocompósitos de drenagem e geocompósitos de reforço.

As vantagens destes materiais, é que podem combinar as melhores características de diferentes elementos para solucionarem problemas específicos e cumprirem funções específicas. Para além das combinações de diferentes geossintéticos, podem existir combinações de geossintético com outro tipo de materiais, como fibras, aço, entre outros. Podem fazer-se ilimitadas combinações de elementos, o que muitas vezes tem vantagens a nível económico e de desempenho.

- **“Geo-outros”:** Segundo Carneiro (2009), com a revolução da indústria dos geossintéticos nos últimos anos, se deu a fabricação de novos produtos com características muito diferentes. A expressão “geo-outros” é utilizada para agrupar todos os geossintéticos que não pertencem a nenhuma das categorias anteriores (exemplos de “geo-outros” incluem as geocélulas, os geotubos, as geomantas, entre muitos outros), as funções desempenhadas pelos “geo-outros” dependem das particularidades destes materiais.

As estruturas dos geossintéticos estão dispostas nas figuras 14 e 15.

Figura 14- Modelos de geossintéticos: (a) geotêxteis; (b) geogrelhas; (c) geomembranas; (d) geocompósito de drenagem; (e) geocélulas.



Fonte: CARNEIRO, 2009.

Figura 15- Exemplos de geossintéticos.



Fonte: SILVA, 2016.

3.5 PROPRIEDADES DOS GEOSSINTÉTICOS

O processo de fabricação e os polímeros constituintes de um geossintético são os principais fatores que determinam as propriedades dos mesmos. Para que os geossintéticos desempenhem de modo eficaz suas funções durante o período de vida útil da obra, resistindo

aos processos de armazenamento, manuseamento e aplicação na construção são necessários que este contenha algumas propriedades (SILVA, 2016).

As propriedades dos geossintéticos estão divididas em propriedades físicas, hidráulicas, mecânicas e as relativas à durabilidade, sendo que esta última indica os danos que os materiais estão sujeitos durante o seu tempo de uso.

3.5.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas mais relevantes dos geossintéticos são: massa por unidade de área, espessura nominal, densidade relativa dos polímeros, dimensão e distribuição das aberturas.

3.5.1.1 Densidade relativa dos polímeros constituintes

É determinada como a razão entre o peso volúmico dos elementos que constituem o geossintético e o peso volúmico da água a 4°C. Esta propriedade é um indicador do tipo de polímero presente no material, contudo é aplicado para identificação e controle de qualidade, permitindo verificar se o geossintético flutua, o que pode ser importante em determinadas aplicações (MOREIRA, 2009).

3.5.1.2 Massa por unidade de área

Segundo Lopes e Lopes (2010), a massa por unidade de área ou gramatura fornece algumas parâmetros sobre o custo dos geossintéticos e pode ser um indicador dos valores de algumas propriedades mecânicas: resistência à tração ou a resistência ao puncionamento estático. É empregada também para controlar a qualidade dos geossintéticos durante o processo de fabricação, fornecendo indicações sobre a uniformidade dos produtos. A gramatura é expressa g/m^2 .

3.5.1.3 Espessura nominal

Segundo Maccaferri (2010), a espessura nominal de um geossintético é determinada pela observação da distância perpendicular entre um plano móvel e uma superfície paralela,

provocada pela ocupação desse espaço por um geossintético, sob uma pressão específica de 2 Kpa para geotêxteis e 20 Kpa para geomembranas por 5 segundos.

3.5.1.4 Distribuição e dimensão das aberturas

A distribuição e dimensão das aberturas do geossintético é uma propriedade importante para os materiais que desempenham a função de filtro, pois é necessário permitir o fluxo de fluido ao longo do contato do geossintético com o solo e evitar a remoção excessiva das partículas finas do solo (CARNEIRO, 2009).

Ainda segundo o autor, as georredes e geogrelhas possuem aberturas uniformes, ou seja, o tamanho de uma abertura já determina a dimensão das aberturas do material. Já as aberturas dos geotêxteis não possuem um tamanho único, mas sim um intervalo de tamanhos.

3.5.2 Propriedades Mecânicas

Quando instalados, os geossintéticos permanecem submetidos a uma carga ou deformação, que podem ser significativas e capazes de comprometer as propriedades mecânicas necessárias para que o geossintético desempenhe sua função, resultando em danos como, perfurações e rasgos (SARSBY, 2007).

3.5.2.1 Propriedades de Compressibilidade

Vidal (1990) define a compressibilidade de um geossintético como a variação de sua espessura quando carregado com diferentes valores de tensões. Essa compressibilidade faz com que a permeabilidade dos geossintéticos seja em função da tensão normal a que eles estão submetidos.

3.5.2.2 Propriedades de tração

Segundo a NBR ISO 10319:2008 (Geossintéticos- Ensaio de tração faixa larga), o ensaio de resistência à tração consiste na aplicação de uma força de tração crescente a um corpo de prova, até que ocorra sua ruptura, sendo os valores de tensão e deformação adquiridos durante todo o ensaio. Os parâmetros obtidos através do ensaio são: resistência à

tração última do material (kN/m), deformação na ruptura (%) e a resistência a 2, 5, 8 e a 10% de deformação (kN/m).

3.5.2.3 Resistência ao rasgamento

Durante sua instalação, os geossintéticos estão sujeitos a tensões de rasgamento. Pode-se definir rasgamento como a rotura progressiva resultante de duas ações: uma localizada, do tipo perfuração, e outra distribuída, do tipo tração. A força de rasgamento é expressa em kN e mede a resistência dos geossintéticos à propagação de rasgos locais. (LOPES; LOPES, 2010).

3.5.2.4 Resistência ao puncionamento

Conforme Silva (2016), a resistência ao puncionamento está associada à função de separação e permite avaliar o comportamento dos geossintéticos quando solicitados pelas partículas dos solos a separar. Esta é inversamente proporcional à vulnerabilidade dos geossintéticos às compressões diferenciais ou a choques causados pela queda de materiais. Com isto é importante determinar a resistência dos geossintéticos ao puncionamento sob condições estáticas e sob condições dinâmicas (testes de impacto).

A resistência ao puncionamento é determinada através de um punção, cilindro metálico de superfície polida, que tenta perfurar os geossintéticos ensaiados, sendo controladas a força aplicada e a deformação atingida (MACCAFERRI, 2010).

3.5.2.5 Atrito nas interfaces

Dentro das propriedades mecânicas dos geossintéticos o atrito nas interfaces é uma das propriedades mais importantes quando estes materiais atuam como reforços. Segundo Lopes e Lopes (2010), a transferência de tensões do reforço para o material do aterro é feita através da interação entre eles, tal interação é feita com base na resistência ao corte na interface do geossintético e o material de contato.

3.5.3 Propriedades Hidráulicas

A capacidade hidráulica por unidade de largura de um material é determinada através da medição da quantidade de água que passa através de um corpo de prova em um determinado tempo, sob pares de tensão normal e gradiente hidráulico específicos (MACCAFERRI, 2010).

3.5.3.1 Permeabilidade à água normal ao plano - permissividade

Esta é uma propriedade importante para o bom desempenho das funções de filtragem, pois analisa o fluxo de fluido perpendicularmente ao plano do geossintético (CARNEIRO, 2009). A permeabilidade na direção perpendicular ao plano do geossintético é expressa em m/s ou mm/s, dependendo da distribuição e dimensão das aberturas.

3.5.3.2 Permeabilidade à água no plano - transmissividade

Através da transmissividade é determinado a capacidade de um geossintético em permitir o escoamento de fluidos no seu plano, tornando-se assim um parâmetro importante quando os geossintéticos desempenham a função de drenagem. A transmissividade é resultado da multiplicação do coeficiente de permeabilidade no plano pela espessura do geossintético (MOREIRA, 2009).

A transmissividade depende da espessura, das pressões exercidas sobre os geossintéticos e da distribuição e dimensão das aberturas dos geossintéticos.

3.5.4 Propriedades Relativas à Durabilidade

A durabilidade de um geossintético é a capacidade que o material tem em manter as propriedades que lhe são exigidas, ao longo de toda a sua vida útil (SILVA, 2016).

As principais propriedades de Durabilidade incluem a resistência à fadiga; fluência e relaxação de tensões; influência da temperatura; resistência à degradação química; resistência à degradação biológica; resistência à foto-oxidação e resistência à abrasão (TUPA, 2006).

3.5.4.1 Danificação durante à instalação

Segundo Sarsby (2007), as deformações e tensões que os geossintéticos sofrem durante sua instalação podem ser mais severas do que as deformações e tensões pretendida. Os danos podem ocorrer sob a forma de furos, rasgos e rupturas. Esses danos influenciam as propriedades mecânicas e hidráulicas dos geossintéticos.

3.5.4.2 Abrasão

A abrasão é o desgaste nos geossintéticos causado pelo contato de fricção com outras superfícies ou materiais de construção. A abrasão excessiva pode ocasionar a perda de propriedades que são necessários para o bom desempenho dos geossintéticos, como a resistência (SARSBY, 2007).

3.5.4.3 Fluência e rotura em fluência

A fluência consiste na deformação de um geossintético que está submetido a uma carga ou a uma tensão constante ao longo do tempo (VERTEMATTI et al., 2004).

A fluência de um geossintético depende, essencialmente, do tipo de polímero tendo o processo de fabricação e, conseqüentemente, a estrutura, uma influência bastante reduzida (CARNEIRO, 2009).

Nas condições de aplicação da carga, não ocorre alterações significativas na resistência do material, até que inesperadamente a sua resistência decresça rapidamente atingindo o valor da carga aplicada no período em que ocorre a rotura do geossintético (LOPES E LOPES, 2010).

3.5.4.4 Agentes de degradação físicos, químicos e biológicos

Segundo Lopes e Lopes (2010), ao longo do período de vida útil dos geossintéticos, eles poderão estar sujeitos à ação de vários agentes de degradação físicos, químicos e biológicos. A exposição dos geossintéticos a estes agentes pode ocasionar impactos negativos nas propriedades dos geossintéticos, diminuindo a vida útil do mesmo. Os meios mais comuns de degradação dos geossintéticos são: radiação solar e outros agentes climáticos, temperatura e variação brusca dela, oxidação (provocada pela temperatura e radiação UV), ação de

líquidos (absorção, extração de componentes, reações químicas com os polímeros) e microrganismos.

4 ESTUDO DE CASO: ATERRO SANITÁRIO DE BRASÍLIA

O Aterro sanitário de Brasília foi planejado para receber os rejeitos que antes eram depositados no Lixão da Estrutural, considerado o maior lixão da América Latina, cuja operação chegou ao fim no dia 20 de janeiro do ano de 2018. As técnicas utilizadas no aterro como a impermeabilização do solo, o sistema de drenagem e a compactação diária, asseguram proteção ao meio ambiente e correto tratamento dos resíduos. O aterro recebe apenas rejeitos, o que minimiza impactos ambientais, conforme o que está previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos

Figura 16- Plano de avanço do Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Cepollina, 2012.

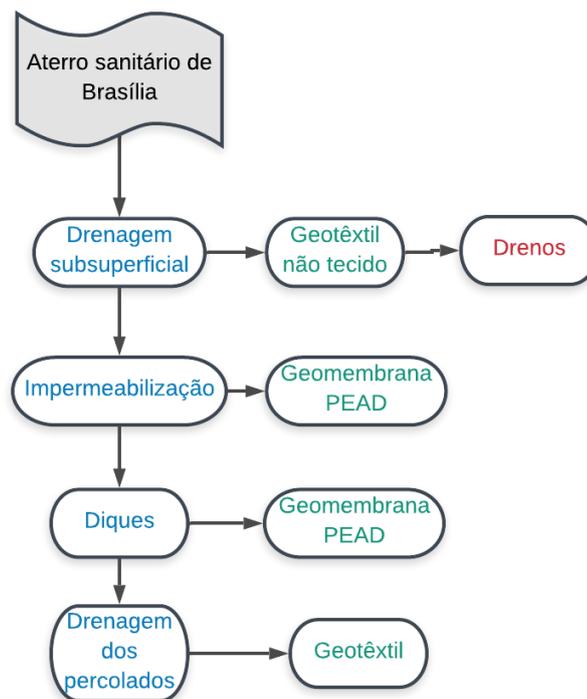
Localizado em Samambaia, o Aterro Sanitário de Brasília, possui 760 mil m², dos quais 320 mil m² são área de aterramento que serão construídos em quatro etapas. A primeira etapa do aterro que está exposta na figura 16, será executado em quatro fases e terá 110 mil m². A primeira fase, que será abordada neste capítulo, foi inaugurada no dia 17 de janeiro do ano de 2017, passando a receber cerca de 900 toneladas de rejeitos por dia.

A previsão é que a primeira etapa tenha uma vida útil de três anos e as outras três etapas do aterro se estendam até o ano de 2030. O custo da implantação da primeira etapa do aterro foi cerca de 45 milhões de reais, com recursos exclusivos do SLU.

A estrutura tem uma previsão de vida útil de 13 anos, mas já há estudos sendo realizados pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU), com o objetivo de aumentar a vida útil do aterro em mais 15 anos, tal estudo leva em consideração a diminuição da geração de rejeitos, melhoria da coleta seletiva e aumento da compostagem de orgânicos.

Na figura 17 está exposto os materiais geossintéticos que foram utilizados na construção da primeira etapa do Aterro Sanitário de Brasília, e em quais elementos estruturais foram executados.

Figura 17- Materiais geossintéticos utilizados no Aterro de Brasília.

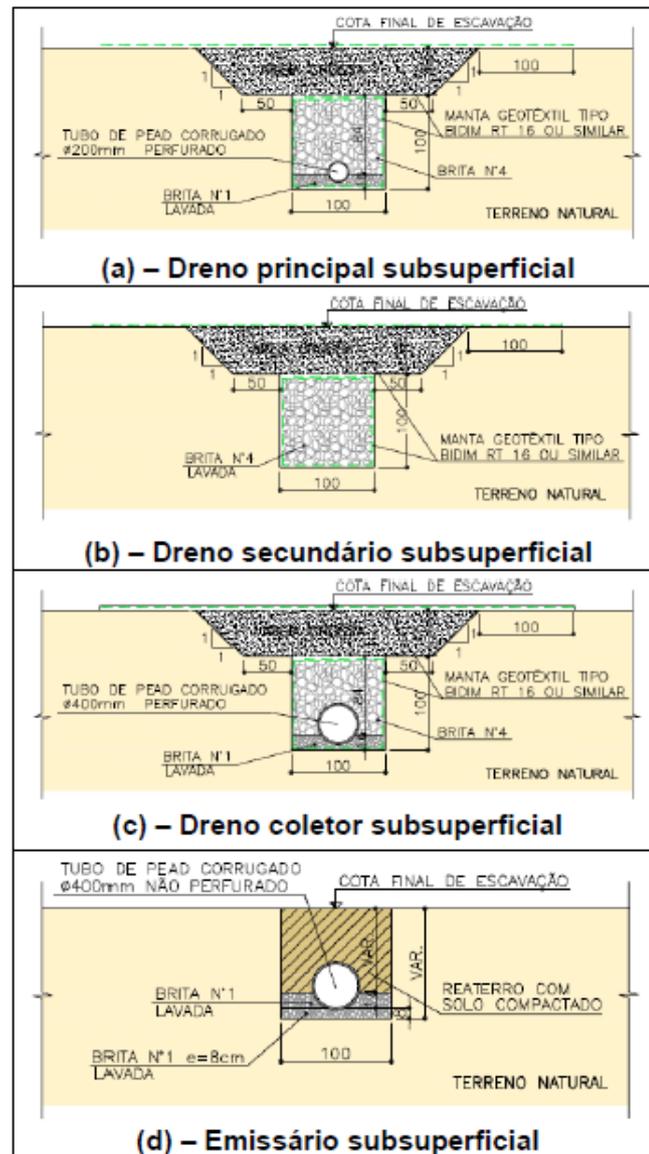


Fonte: Próprios autores, 2019.

4.1 DRENAGEM SUBSUPERFICIAL

O sistema de drenagem subsuperficial tem como função evitar que a estabilidade do aterro seja condicionada pelas subpressões geradas na base do aterro, em caso de elevação do lençol freático. O sistema de drenagem do Aterro Sanitário de Brasília é composto por linhas de drenos subsuperficiais secundários, do tipo espinha de peixe.

Figura 18- Elementos de drenagem subsuperficial do Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Cepollina, 2012.

De acordo com o detalhamento dos drenos apresentados na figura 18, foi utilizado uma camada de geotêxtil não tecido nas interfaces entre a seção drenante principal e o solo de fundação, e entre a camada de areia e a camada de fundo do aterro sanitário, evitando assim o carreamento de solos com menor granulometria para o interior do geotêxtil e consequentemente na perda da capacidade drenante do mesmo devido a colmatagem física.

Segundo SILVA (2014), a colmatagem é um processo que ocorre ao longo do tempo, comprometendo a eficiência do sistema drenante, devido à redução da área transversal dos espaços vazios de um determinado meio poroso, que estão expostos a um fluido percolante.

Além da colmatção física, pode ocorrer ainda a colmatção interna do filtro do geotêxtil não tecido, através da formação de gel de óxido de ferro decorrente do contato de líquidos com uma elevada concentração de óxido de ferro com a atmosfera. Segundo o Progea (2005), o solo presente na área do aterro é denominado de latossolo, que é caracterizado por ter uma elevada concentração de íons de ferro. Sendo assim, a colmatção interna será evitada projetando os drenos para que operem de forma afogada.

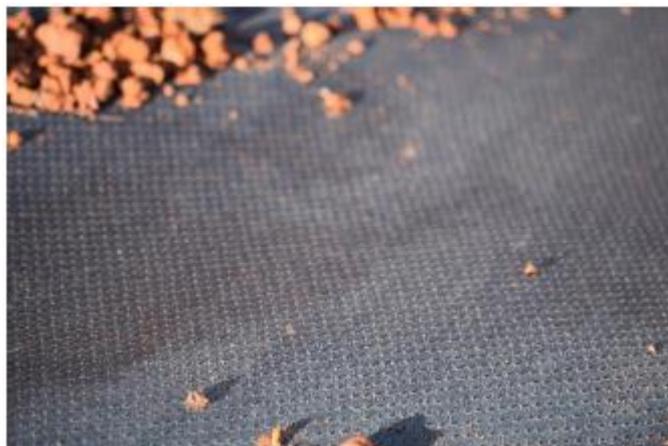
O geotêxtil não tecido tem como função neste caso, de permitir a passagem de líquidos e ao mesmo tempo reter as partículas do solo necessárias à sua estabilização.

4.2 IMPERMEABILIZAÇÃO

O principal elemento que difere o aterro sanitário das demais estruturas utilizadas para a disposição de resíduos sólidos é a presença de uma camada de impermeabilização. O sistema de impermeabilização do Aterro Sanitário de Brasília é composto segundo o projeto executivo elaborado pela Cepollina Engenheiros Consultores LTDA, por uma camada composta de geomembrana PEAD e argila compactada. A camada de argila foi compactada aos poucos, apresentando uma espessura final de 1,5 m.

Acima da camada de argila compactada foi instalada uma geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) texturizada nas duas faces, como na figura 19, e com uma espessura de 2 mm. A presença da textura atribui melhores propriedades mecânicas entre o solo e a geomembrana, condicionando a estabilidade dos taludes do contorno do aterro. Com o objetivo de proteger a geomembrana de ser danificada pelos rejeitos, foi instalada uma camada de solo com espessura de 0,5 m acima da geomembrana.

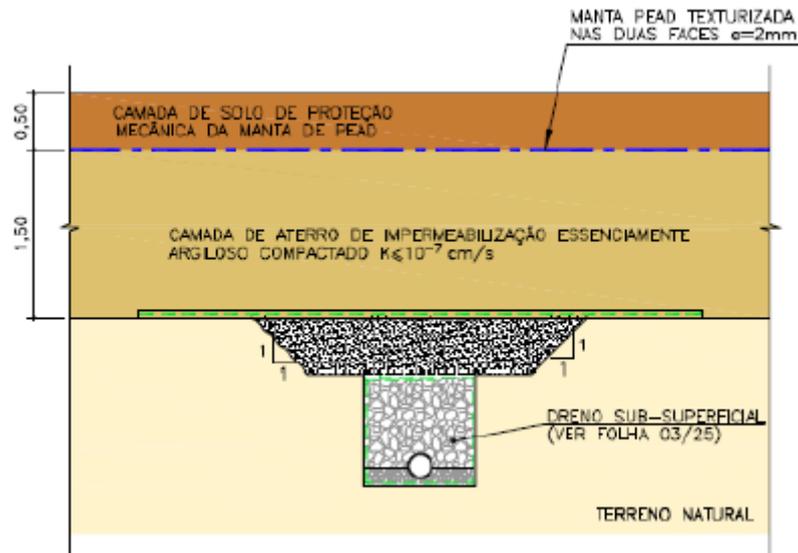
Figura 19- Geomembrana PEAD texturizada do Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Nisiyama, 2016.

A camada de impermeabilização do Aterro Sanitário de Brasília está representada na figura 20.

Figura 20- Camada de impermeabilização do Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Cepollina, 2012.

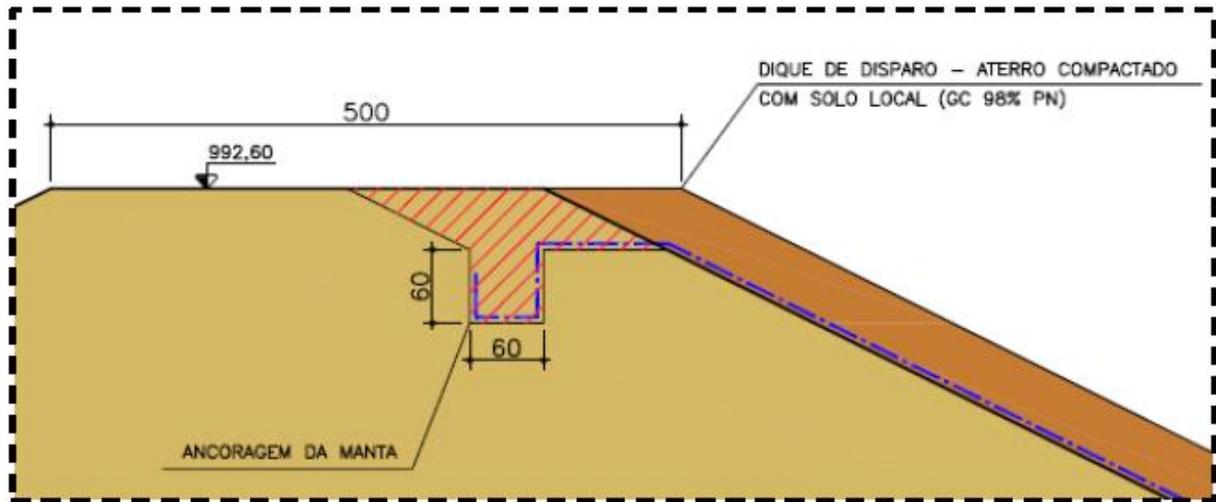
Segundo Maccaferri (2010), a aplicação de geomembranas em obras de proteção ambiental tornou-se uma alternativa interessante devido às suas características mecânicas e principalmente por sua espessura, proporcionando um melhor aproveitamento do volume das células e conseqüentemente um aumento de seu tempo de utilização. Além de controlar o percolado e a disposição segura dos resíduos, as geomembranas PEAD são materiais de fácil aplicação e inertes quimicamente à maioria dos reagentes encontrados nesse tipo de obra.

4.3 DIQUES

Os diques possuem a função de garantir o confinamento dos rejeitos dispostos, proporcionando estabilidade do maciço de rejeito que será alteado.

Ao redor das células, foram executados diques de disparo, como mostrado na figura 21, que receberam na face interna a área de disposição de rejeitos uma impermeabilização feita por uma manta de geomembrana, sendo que sua camada de proteção composta por solo compactado, será executada juntamente com o alteamento do maciço de rejeitos, devido à dificuldade em utilizar equipamentos como tratores e esteiras em grandes declividades.

Figura 21- Ancoragem da geomembrana no dique.



Fonte: Cepollina, 2012.

A geomembrana utilizada para a impermeabilização foi ancorada na face interna da crista do dique, conforme mostrado na figura 22.

Figura 22- Ancoragem da geomembrana na face interna do dique.



Fonte: Nisiyama, 2016.

O fato de a geomembrana permanecer desprotegida até que ocorra o alteamento do maciço de rejeitos, pode afetar a integridade da geomembrana pelo processo de fotodegradação, já que as geomembranas apresentam tendência de degradação quando expostas à radiação ultravioleta, alterando sua vida útil. A geomembrana também estará em contato com os percolados dos rejeitos, podendo desencadear uma degradação de ordem química.

Na figura 23 está exposto de forma resumida os efeitos da exposição de geomembranas às intempéries.

Figura 23- Efeitos da exposição de geomembranas à intempérie.

TIPO DE EXPOSIÇÃO	EFEITOS NAS GEOMEMBRANAS
Intempérie	
Oxidação	Enrijecimento e perda de resistência à tração, ao rasgo e perda de alongamento
Temperatura elevada	Redução da resistência mecânica e degradação, geralmente enrijecimento, mas algumas vezes amolecimento
Ozônio	Fissuras em pontos de deformação
Luz UV	Enrijecimento e fissuras
Perda de plastificante volátil	Enrijecimento e pode tornar-se quebradiço (frágil)
Umidade elevada	Absorção de água, lixiviação de antioxidante resultando em grande susceptibilidade à oxidação e UV

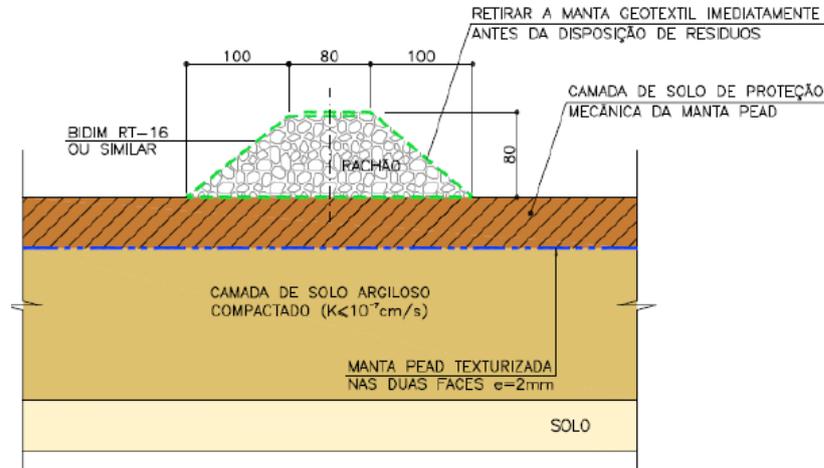
Fonte: Haxo e Nelson, 1984.

4.4 DRENAGEM DE PERCOLADOS NA FUNDAÇÃO

Quatro componentes constituem o sistema de drenagem dos percolados: drenos principais, drenos secundários, drenos coletores e emissário de chorume. Os drenos estão organizados sobre um esquema denominado de espinha de peixe, de forma que os drenos secundários conduzam a vazão dos percolados para os drenos primários, que por sua vez leva a vazão de percolados para os drenos coletores.

Com função de manter a geometria dos drenos, foram colocadas mantas de geotêxtil sobre os mesmos, conforme a figura 24. No entanto, essas mantas são retiradas imediatamente antes da disposição dos resíduos, pois a percolação de lixiviados por geotêxteis podem ocasionar a sua colmatagem física, química e biológica.

Figura 24- Detalhamento do dreno secundário de percolados na fundação do Aterro Sanitário de Brasília.



Fonte: Cepollina, 2012.

Apesar da possibilidade de colmatação dos geotêxteis, Vertematti (2004) relata as principais vantagens que são proporcionadas pelos geotêxteis como elemento filtrante em relação aos materiais convencionais, como a areia:

- Menor espessura do filtro;
- Características controladas e regulares;
- Facilidade de instalação e manutenção;
- Baixo custo.

Remígio (2006) considera que para que um sistema drenante funcione adequadamente ao longo do tempo, é necessário ter cuidado quanto ao dimensionamento e características do filtro, como também do solo a ser protegido e a escolha dos métodos construtivos.

Luetlich, Giroud e Bachus (1992), ressaltam a importância de um critério para evitar a colmatação do geotêxtil e garantir que o mesmo tenha um significativo número de vazios, para caso de ocorrer a colmatação, a permeabilidade do geotêxtil não ser reduzida drasticamente. Ainda segundo os autores, para um melhor aproveitamento do geotêxtil é importante realizar algumas etapas, como:

- Definir os requisitos de filtro desejáveis para a aplicação pretendida;
- Controlar as condições do solo ao redor do geotêxtil;
- Determinar os requisitos de retenção do geotêxtil;

- Determinar os requisitos de permeabilidade do geotêxtil;
- Determinar os requisitos anticolmatação do geotêxtil;
- Determinar os requisitos de durabilidade;
- Selecionar o geotêxtil que será aplicado como filtro.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os geossintéticos são produtos poliméricos, industrializados, cujas propriedades contribuem para a melhoria de obras geotécnicas. Estes materiais sintéticos têm sido utilizados em substituição aos materiais de construção e como reforço de materiais naturais. As propriedades finais dos geossintéticos estão diretamente relacionadas com a composição química e com a estrutura do polímero que o constitui. Neste trabalho, foram apresentados os principais tipos de geossintéticos e as características físicas e mecânicas dos mesmos.

Esses produtos são constituídos por uma grande variedade de materiais e formas, possibilitando o uso de suas funcionalidades, especialmente como elementos para reforço de solos, drenos, filtros, camadas de separação ou impermeabilização.

Devido as suas vantagens, hoje existe uma grande demanda de materiais geossintéticos no Brasil e com o objetivo de controlar este mercado existe uma grande responsabilidade quanto à correta especificação destes materiais, assim como um cuidado especial com o recebimento dos materiais e controle de execução, verificando se os produtos entregues atendem aos valores especificados em projeto, como também se os mesmos são instalados da forma adequada.

A utilização de geossintéticos em obras de aterro sanitário apresenta vantagens técnicas e econômicas. A principal vantagem é o baixo custo do método, quando comparado a outros métodos tradicionais, este benefício é decorrente do preço das matérias primas utilizadas e da facilidade e rapidez de execução. A inclusão de elementos sintéticos no aterro permite a adoção de estruturas mais íngremes e com menor volume de aterro compactado. Com isso, há uma redução do espaço ocupado pela estrutura.

A aplicação de geossintéticos em obras de aterro sanitário também permite a simplificação do processo construtivo, já que a facilidade de execução permite a execução de obras em locais de acesso difícil. Além disso, o tempo de execução da obra é geralmente reduzido.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante o estudo dos seguintes temas:

- Estudo do comportamento de uma camada de geomembrana PEAD sob carregamentos estáticos e dinâmicos;
- Estudo do comportamento de geotêxteis em sistemas de drenagem;
- Estudo dos comportamentos hidráulico e mecânico de geocompostos bentoníticos destinados às camadas de cobertura de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2017**. São Paulo: Abrelpe, set. 2018.
- ALBUQUERQUE, J. B. Torres de. **Resíduos Sólidos**. São Paulo: Leme: Independente, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419 VERSÃO CORRIGIDA: 1996: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10318-1: **Geossintéticos- Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10319: **Geossintéticos- Ensaio de tração faixa larga**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997
- BENJAMIN, Carlos Vinicius dos Santos. **Aplicação de geossintéticos em aterros sanitários**. Limpeza Pública, São Paulo, v. 73, n. 1, p.50-55, mar. 2010.
- BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; SOARES, Sebastião Roberto (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: Prosab, 2001. P. 138.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe Sobre A Política Nacional do Meio Ambiente, Seus Fins e Mecanismos de Formulação e Aplicação, e Dá Outras Providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 22 set. 2018.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui A Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera A Lei no 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e Dá Outras Providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 22 set. 2018.
- CARNEIRO, José Ricardo da Cunha. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental – a importância da incorporação de aditivos químicos**. 2009. 534 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2009. Cap. 13.
- CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para municípios de Pequeno Porte: Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro: Abes, 2003. Disponível em:

<file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20aterro%20sustent%C3%A1vel%20para%20munic%C3%ADpios%20de%20pequeno%20porte.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4. ed. São Paulo: Cempre, 2018. Disponível em: <LIXO MUNICIPAL: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: Cempre, 2018. 4. Ed.. Disponível em: . Acesso em: 10 out. 2018.>. Acesso em: 10 out. 2018.

CEPOLLINA. Engenheiros e Associados Ltda. **Desenhos de projeto - Projeto Executivo: Central de Tratamento de Resíduos Sólidos do DF (CTRS/DF)**. Brasília, 2012.

DAS, Braja M. et al. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

GAZETA ONLINE. **Nos lixões vidas em risco na luta pela sobrevivência**. 2017. Disponível em: <<https://www.gazetaonline.com.br/noticias/economia/2017/11/nos-lixoes-vidas-em-risco-na-luta-pela-sobrevivencia-1014107375.html>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

G1. **Prefeitura prevê prazo de um ano para total desativação do lixão**. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2016/12/prefeitura-preve-prazo-de-um-ano-para-total-desativacao-do-lixao.html>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

Haxo, H. e Nelson, N. **Factors in the Durability of Polymeric Membrane Liners**. International Conference on Geomembranes, Denver, EUA, p. 287 – 292, 1984.

IBAM (Org.). **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

ISWA; ABRELPE (Org.). **Roteiro para encerramento de lixões**. São Paulo: Abrelpe, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/pdfs/publicacoes/roteiro-para-encerramento-de-lixoes.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; MACHADO FILHO, José Valverde (Org.). **Política Nacional, Gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Barueri: Manole, 2012. (Coleção Ambiental)

LOPES, Margarida Pinho; LOPES, Maria de Lurdes. **A Durabilidade dos Geossintéticos**. Porto: Feup, 2010.

LUETTICH, S.M.; GIROUD, J.P.; BACHUS, R.C.. **Geotextile filter design guide. Geotextiles and Geomembranes**.v.11, p. 355- 370, 1992.

MACCAFERRI. **Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos. Manual Técnico**. Jundiaí: Maccaferri do Brasil, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Geossinteticos%20-%20Macaferri.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2019.

MACIEL, Felipe Jucá. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE.** 2003. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5806/1/arquivo6638_1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares.** 2004. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4292/DissLMM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 out. 2018.

MOREIRA, Simão Pedro de Castro Neves Marques. **Efeitos da danificação mecânica dos geossintéticos no comportamento como filtro em sistemas de cobertura de estruturas de confinamento de resíduos.** 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2009. Disponível em: <<file:///C:/9%20PERIODO/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso%201/00136382.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

NISIYAMA, Felipe Leite. **Aspectos geotécnicos e ambientais relacionados à implantação do aterro sanitário oeste.** 2016. 111 p. TCC (Graduação) - Curso de Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Portal da Prefeitura de Curitiba. **Aterro sanitário de Curitiba.** Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/aterro-sanitario-smma/454>>. Acesso em: 29 maio 2019.

REMÍGIO, A.F.N.; **Estudo da Colmatação Biológica a Sistemas Filtro-Drenantes Sintéticos de Obras de Disposição de Resíduos Domésticos Urbanos sob Condições Anaeróbicos.** Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília – DF, 134p, 2006.

SARSBY, R. W. **Geosynthetics in Civil Engineering.** The Textile Institute. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. 308 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/epdf.tips_geosynthetics-in-civil-engineering.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2019.

SILVA, Adriana da. **Avaliação da danificação de geossintéticos causada por resíduos reciclados.** 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2016. Cap. 6.

SILVA, Suzana Aparecida da. **Geotêxteis como elementos redutores da capacidade poluente de chorume.** 2014. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Df, 2014.

TUPA, Néstor. **Utilização de geossintéticos para proteção de tubulações pressurizadas enterradas.** 2006. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<https://www.geotecnia.unb.br/downloads/teses/036-2006.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

VAN ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: Ibam, 2007. 40 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf>. Acesso em: 05 out. 2018.

VERTEMATTI, José Carlos. **Curso Básico de Geotexteis**. São Paulo: Abint, 2001. 95 p. Disponível em: <<http://www.geossinteticos.org.br/pdf/Apostila%20-%20CBG.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018

VERTEMATTI, José Carlos et al (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Blucher, 2004.

VIDAL, D. M. **Geotêxtil: Propriedade e Ensaio**. Manual Técnico Geotêxtil Bidim, p. 1-31, 1990.