



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NATHÁLIA DO PRADO MAIA

O USO DE MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS

JOÃO PESSOA-PB

2016

NATHÁLIA DO PRADO MAIA

O USO DE MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

JOÃO PESSOA

2016

Dedico este trabalho aos grandes alicerces da minha vida: os meus pais e irmã, que me acompanham de perto em toda trajetória, e com os quais venho crescendo continuamente.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Érika Verônica Mendonça do Prado e Romero Dantas Maia por todo o apoio e ensinamentos que deram durante minha vida, minha eterna gratidão.

Agradeço também à minha irmã Priscilla do Prado Maia, quem eu admiro muito e busco sempre me espelhar.

Aos grandes amigos formados durante a vida universitária, que de colegas de curso se tornaram companheiros para a vida, os quais foram essenciais nas horas mais complicadas da graduação; e aos mais antigos, que me acompanham desde sempre, meus agradecimentos.

Meus agradecimentos a cada professor com quem aprendi algo de novo, desde a escola até a fase de graduação.

Agradeço de forma especial à professora e orientadora Aline Flávia Remígio Antunes Nunes, que me ensinou muito além dos conteúdos acadêmicos.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuem para minha formação, pessoal e profissional.

RESUMO

Diante do atual panorama de disposição de resíduos sólidos em nosso país e frente às exigências legais em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos aprovada em 2010, que exige a extinção dos lixões e substituição destes pelo aterro sanitário, o Brasil atual se encontra em uma situação de necessidade de métodos de engenharia capazes de viabilizar a implantação de aterros sanitários em escala nacional. O aumento nas taxas de produção de resíduos sólidos é outro fator que contribui para esta situação de busca por soluções vantajosas e viáveis do ponto de vista econômico e ambiental. Este estudo apresenta o emprego de geossintéticos em obras de aterros sanitários de modo a otimizar a construção deste tipo de estrutura. As propriedades destes materiais apresentam uma série de vantagens em relação a outros métodos devido à capacidade de implementação dos geossintéticos em sistemas de drenagem, filtração, impermeabilização, auxílio na revegetação de coberturas de taludes, aumento da resistência, entre outras aplicações. Diante deste contexto, os materiais apresentados neste trabalho atuam de forma a viabilizar a execução dos aterros sanitários sob o ponto de vista técnico, de produtividade, estabilidade, economia e facilidade de execução. O estudo apresenta os principais processos normativos voltados aos geossintéticos com aplicação em aterros sanitários e os diversos tipos de geossintéticos que podem ser encontrados no mercado, com suas respectivas funções em um sistema de aterro sanitário.

Palavras-Chave: GEOSSINTÉTICOS, ATERRO SANITÁRIO, ESTABILIDADE, IMPERMEABILIZAÇÃO, DRENAGEM.

ABSTRACT

Given the current panorama of disposal of solid waste in Brazil and due to the legal requirements in accordance with the National Solid Waste Policy approved in 2010, which requires the abolition of dumpsters and replacement with the landfill, the actual Brazil is in a situation of need for engineering methods to enable the implementation of landfills nationwide. The increase in solid waste production rates is another factor contributing to this situation, of searching for advantageous and feasible solutions from an economical and environmental point of view. This study presents the use of geosynthetics in landfill construction to optimize the framing of this type of structure. The properties of these materials exhibit a number of advantages over other methods due to the implementation capacity of geosynthetics in drainage, filtration, waterproofing, in the recovery of slope coverage, increase of resistance, among other applications. Given this context, the materials presented in this paper act in order to facilitate the implementation of the landfill from the point of view of productivity, technique, stability, economy and ease of execution. The study presents the main regulatory processes aimed to geosynthetics with application in landfills and the various types of geosynthetics that can be found in the market with their respective functions in a landfill system.

Keywords: GEOSYNTHETICS, LANDFILL, STABILITY, WATERPROOFING, DRAINAGE.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CER – Carbon Emission Reduction (Redução da Emissão de Carbono)

CNM - Confederação Nacional de Municípios

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONDER – Companhia do Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia

CSPE - Polietileno Clorosulfonado

EIA - Interpolímero Etileno Aloy

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente (MG)

GLC – Geosynthetic Clay Liner (Geossintético de Bentonita)

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGS - International Geosynthetics Society

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC - Policloreto de Vinila

ReCESA - Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento

SUDEMA – Superintendência do Meio Ambiente

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

VLDPE - Polietileno de Baixa Densidade

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lixão localizado no bairro do Mutirão em Campina Grande.....	5
Figura 2 - Esquema de aterro controlado	6
Figura 3 – Aterro sanitário metropolitano localizado no município de Santa Rita.....	7
Figura 4 – Destinação final dos resíduos domiciliares e/ou públicos.....	8
Figura 5 – Tipos de escorregamento de taludes	11
Figura 6 - Geossintéticos aplicados em aterro sanitário	15
Figura 7 – Geocélulas	16
Figura 8 – Utilização de Geocélula e geotêxtil em revestimento de descidas d’águas em aterro sanitário em Paulínia, SP.....	17
Figura 9 – Detalhe de aplicação do geocomposto de bentonita	19
Figura 10 - Geocomposto bentonítico aplicado em obra de aterro sanitário	20
Figura 11 – Exemplo de geocomposto drenante	21
Figura 12 – Esquema da seção transversal da solução adotada.....	23
Figura 13 – Uso de geogrelhas Macgrid®	24
Figura 14 – Detalhe esquemático do uso de biomanta em cobertura de aterro sanitário.....	25
Figura 15 – Aplicação de geomembrana em obra de impermeabilização de aterro sanitário..	27
Figura 16- Georrede.....	28
Figura 17 – Geotubo - normalmente utilizado para drenagem de líquidos e gases.....	29
Figura 18 – Diferentes tipos de geotêxteis	30
Figura 19 – Ensaio de resistência à tração	33
Figura 20 - Geotêxtil sendo tensionado no vazio entre as partículas de solo granular.....	35
Figura 21 - Esquema do funcionamento em geotêxteis.....	36
Figura 22 – Procedimento para obtenção de parâmetros de transmissividade.....	37
Figura 23 - Disposição de geossintéticos aplicados em impermeabilização de fundo de aterro sanitário	40
Figura 24 - Drenos horizontais dispostos em “espinha de peixe” na construção de aterro sanitário	42
Figura 25 – Captação e queima do metano gerado em aterro sanitário	43
Figura 26 – Estrutura técnica do sistema de captação e queima do biogás.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Utilização de Geocélula em revestimento de descidas d'águas em aterro sanitário	17
Tabela 2 - Análise comparativa entre GCL e argila compactada para impermeabilização	18
Tabela 3 - Utilização de geocomposto GCL como reforço para impermeabilização de aterro sanitário	20
Tabela 4 - Utilização de geocomposto GCL como reforço para impermeabilização de aterro sanitário	22
Tabela 5 - Uso de biomanta para evitar processo erosivo em cobertura de aterro sanitário	25
Tabela 6 - Caso de reestruturação de aterro e impermeabilização com geomembrana	26
Tabela 7 - Ensaio realizados em geotêxteis e normas correspondentes	31
Tabela 8 - Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo	40
Tabela 9 - Legislação e normas incidentes.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	OBJETIVOS	3
3	REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1	Formas de disposição dos resíduos sólidos.....	4
3.1.1	Lixão	4
3.1.2	Aterro Controlado.....	5
3.1.3	Aterro Sanitário	6
3.2	Estabilidade de Taludes	8
3.2.1	Movimentos de massa.....	9
4	CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOSSINTÉTICOS.....	13
4.1	Aplicação de geossintéticos em obras de disposição de resíduos	14
4.2	Classificação dos Geossintéticos	15
4.2.1	Geocélula.....	15
4.2.2	Geocompostos	17
4.2.3	Geocomposto para barreira impermeabilizante (GCL)	18
4.2.4	Geocomposto para drenagem	20
4.2.5	Geogrelha	23
4.2.6	Geomanta	24
4.2.7	Geomembrana.....	26
4.2.8	Georrede.....	27
4.2.9	Geotubo	28
4.2.10	Geotêxtil (tecido e não-tecido)	29
4.3	Propriedades dos Geossintéticos	30
4.3.1	Gramatura.....	32
4.3.2	Espessura nominal	32
4.3.3	Porosidade	32

4.3.4	Compressibilidade	33
4.3.5	Resistência à tração.....	33
4.3.6	Resistência ao estouro.....	34
4.3.7	Resistência à propagação de rasgos.....	35
4.3.8	Resistência a puncionamentos.....	35
4.3.9	Fluência.....	36
4.3.10	Permissividade.....	36
4.3.11	Transmissividade	37
4.3.12	Abertura de filtração	38
5	SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS	39
5.1	Impermeabilização de fundo	39
5.2	Sistema de drenagem do lixiviado.....	41
5.3	Sistema de drenagem dos gases.....	42
5.4	Camada de cobertura.....	45
5.5	Sistema de drenagem de águas pluviais.....	46
6	NORMAS VIGENTES	48
7	LEGISLAÇÃO.....	50
8	ORIENTAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	53
8.1	Escolha da Área e Geometria	54
8.2	Licença Ambiental.....	54
8.3	Dimensionamento e Seleção de Geossintéticos	54
8.4	Instalação dos Geossintéticos	55
8.5	Manutenção do Aterro Sanitário.....	55
8.6	Encerramento e Integração com o Meio Ambiente	56
9	CONCLUSÃO.....	58
10	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

No Brasil atual, mais de 250 mil toneladas de resíduos sólidos são produzidas todos os dias. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), só em 2014 foram geradas aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de lixo, o que representa um aumento de 2,9% em relação à geração feita em 2013, índice superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9%.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos aprovada em 2010, todos os lixões do país deveriam ter sido fechados até 2 de agosto de 2014, e o rejeito (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado) encaminhado para aterros sanitários. Há, contudo, um novo projeto de lei (2289/2015) em tramitação na Câmara dos Deputados para adiamento deste prazo, devido à dificuldade encontrada pelos gestores municipais e falta de atitude política para execução desta determinação.

Tal problemática na legislação evidencia a importância da implementação de um método viável para o destino final de resíduos, de forma a não impactar o meio ambiente e nem trazer riscos à saúde da população.

Araújo (2014) considera que o aterro sanitário é o único método tecnicamente adequado para disposição final de rejeitos e que deve ser aliado a determinadas ações e políticas – como incentivo à reciclagem e reuso de materiais – de forma a otimizar o correto destino do lixo gerado.

As principais vantagens do uso de geossintéticos em aterros sanitários estão relacionadas à economia, à facilidade de instalação, à alta produtividade e à sua grande versatilidade de uso - uma vez que possui características drenantes, impermeabilizantes, de separação, contenção, proteção, entre outras aplicações.

A autora do referido estudo, ciente da importância de implementar o uso de materiais que apresentem vantagens capazes de otimizar a execução de aterros sanitários, e, considerando que há, no cenário atual, a necessidade de execução de sistemas que viabilizem a instalação em escala nacional de obras para destino final de resíduos sólidos, interessou-se em pesquisar sobre o assunto.

2 OBJETIVOS

A proposta do trabalho consiste no estudo do uso e aplicação de materiais geossintéticos em obras de aterro sanitário. Desta forma, o estudo tem como objetivos:

- a) Expor as formas existentes de disposição de resíduos sólidos atuais, apontando as desvantagens da disposição inadequada destes resíduos;
- b) Comparar o comportamento de outros métodos construtivos convencionais com as estruturas executadas com geossintéticos, evidenciando as vantagens e desvantagens de cada um;
- c) Apresentar as propriedades intrínsecas aos geossintéticos de acordo com as Normas regulamentadoras vigentes;
- d) Orientar quanto à seleção do geossintético mais adequado para cada aplicação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Formas de disposição dos resíduos sólidos

As formas de disposição mais observadas para os resíduos sólidos descartados são o lixão a céu aberto, o aterro controlado e o aterro sanitário. Dentre essas, segundo Silva (2013), a mais correta do ponto de vista ambiental, econômico e da saúde populacional é o aterro sanitário, pois é a que traz menos impactos negativos nesses aspectos, desde que corretamente instalado.

3.1.1 Lixão

O lixão é uma área onde os resíduos sólidos urbanos são jogados sem nenhum preparo prévio ou procedimento para evitar prejuízos ao meio ambiente. Nestes locais, não há nenhum tratamento para os resíduos líquidos gerados da decomposição do material disposto (lixiviado), e o vazamento destas substâncias traz prejuízos ao meio ambiente por ter grande potencial de contaminação do solo e do lençol freático (MACHADO, 2013).

O autor supracitado prossegue afirmando que os lixões se tornam um foco de doenças e vetores devido à falta de controle da poluição gerada pela decomposição da matéria e disposição desordenada no meio ambiente, em que o único critério adotado na escolha do local era a distância dos centros urbanos, de modo a evitar impactos negativos na opinião pública.

Segundo pesquisa da Confederação Nacional de Municípios (CNM) em 2014, 32,5% (807) das cidades com até 300 mil habitantes continuavam enviando seus resíduos para lixões uma semana antes do fim do prazo estipulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. O índice entre os municípios com até 100 mil habitantes era de 33,6% (768), contra 19,7% (39) das cidades entre 100 e 300 mil habitantes.

Pesquisa desenvolvida na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e publicada em 2009 na Revista Ambiente e Água destaca que no município de João Pessoa, até o ano de 2003, o lixão a céu aberto era o único método de disposição de resíduos adotado, e mesmo 10 anos depois de desativado, o lixão do Róger – como foi conhecido – continuava trazendo contaminação para as águas do rio Sanhauá, próximo àquela região.

A Figura 1 ilustra o Lixão do Mutirão, localizado na cidade de Campina Grande, desativado em 2012. Segundo Alves (2013), a localização próxima a um aeroporto do município

representava perigo para as aviações, uma vez que a grande quantidade de urubus atraídos para o local era de grande potencial causador de acidentes aéreos.

Figura 1 - Lixão localizado no bairro do Mutirão em Campina Grande



Fonte: PIMENTEL, 2010

3.1.2 Aterro Controlado

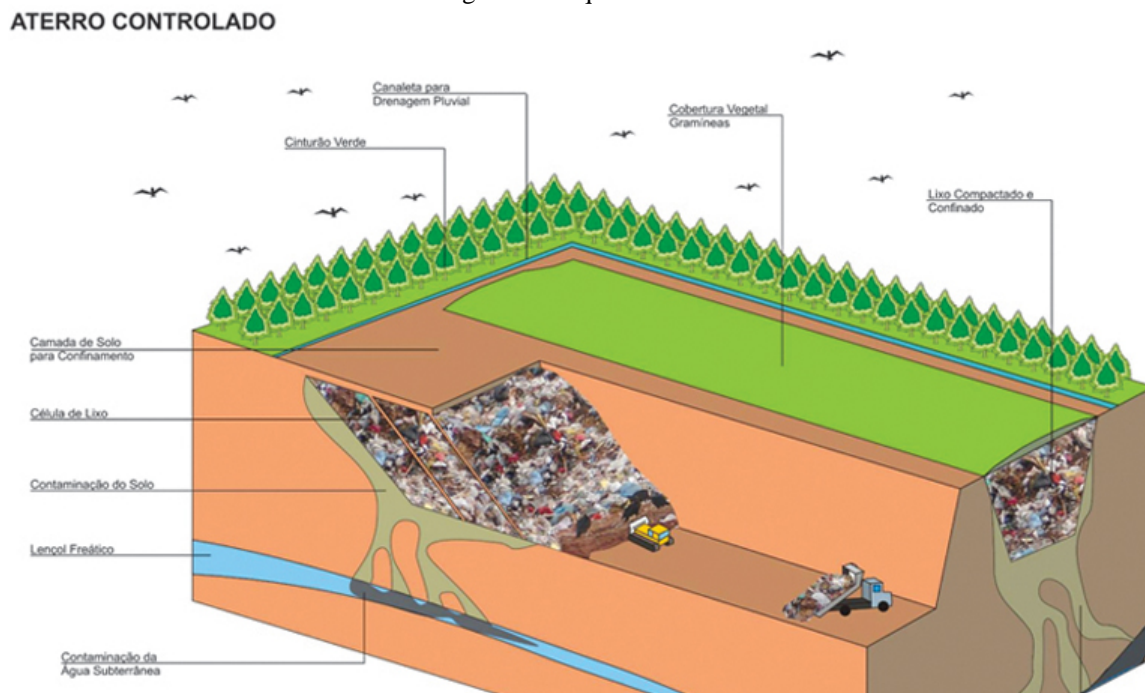
Uma categoria intermediária entre o lixão e o aterro sanitário é o aterro controlado. Muitas vezes este tipo de disposição trata-se de uma remediação de célula de lixão, ou seja, à camada de resíduos existente lança-se cobertura de solo e grama.

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE (2009), apesar do emprego de alguns procedimentos e de estruturas minimizadoras de impactos, o aterro controlado se caracteriza principalmente por não apresentar sistemas adequados de impermeabilização de base, apresentando-se como forma inadequada de disposição.

O termo “aterro controlado” começou a ser utilizado durante os últimos anos para denominar os aterros “não sanitários”, os quais apresentam algumas falhas ou faltas, tais como não impermeabilização do fundo, não recolhimento e tratamento do percolado, não coleta dos gases produzidos e consequente queima ou aproveitamento, não recobrimento com camada de terra ao final da jornada diária de trabalho, entre outros aspectos. Alguns especialistas concordam que o importante é melhorar paulatinamente o existente até chegar, a médio ou curto prazo a um aterro sanitário verdadeiro (Publicações temáticas do CREA).

O sistema do aterro controlado minimiza o mau cheiro e o impacto visual, além de evitar a proliferação de insetos e animais. Porém, como pode ser percebido através da Figura 2, não há impermeabilização de base (o que evitaria que o material contaminasse o solo e o lençol d'água), nem sistema de tratamento do chorume ou do biogás.

Figura 2 - Esquema de aterro controlado



Fonte: Regional News, 2015

3.1.3 Aterro Sanitário

Aterro sanitário é uma técnica de disposição do lixo fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que permite a confinamento segura em termos de controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública (IBGE, 2002).

No aterro sanitário, segundo a FEAM (2006), o lixo é depositado em local preparado e o terreno é nivelado e impermeabilizado com materiais resistentes que impedem a contaminação do solo e de água subterrânea por lixiviado (líquido preto tóxico produzido pela decomposição de resíduos orgânicos). Ainda segundo FEAM (2006), o lixiviado é coletado através drenos e recebe tratamento; depois é devolvido ao meio ambiente sem risco de contaminação.

De acordo com a NBR 13896/1997 da ABNT, recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos e monitoramento por no mínimo mais 20 anos após seu encerramento, pois mesmo depois de desativados, continuam gerando gases e líquido percolado.

Marques (2003) nos informa que o recebimento de resíduos em aterros sanitários brasileiros ocorria sem qualquer tipo de tratamento prévio, e que em determinados países havia emprego de trituração ou enfardamento do material recebido. Este mesmo autor afirma que essa preparação prévia do material proporciona redução de volume e maior eficiência na compactação, oferecendo melhor aproveitamento do biogás e sistema de cobertura, além de facilitar o tráfego de veículos sobre a célula.

A Figura 3 ilustra o aterro sanitário localizado na cidade de Santa Rita, que beneficia a região metropolitana do município de João Pessoa.

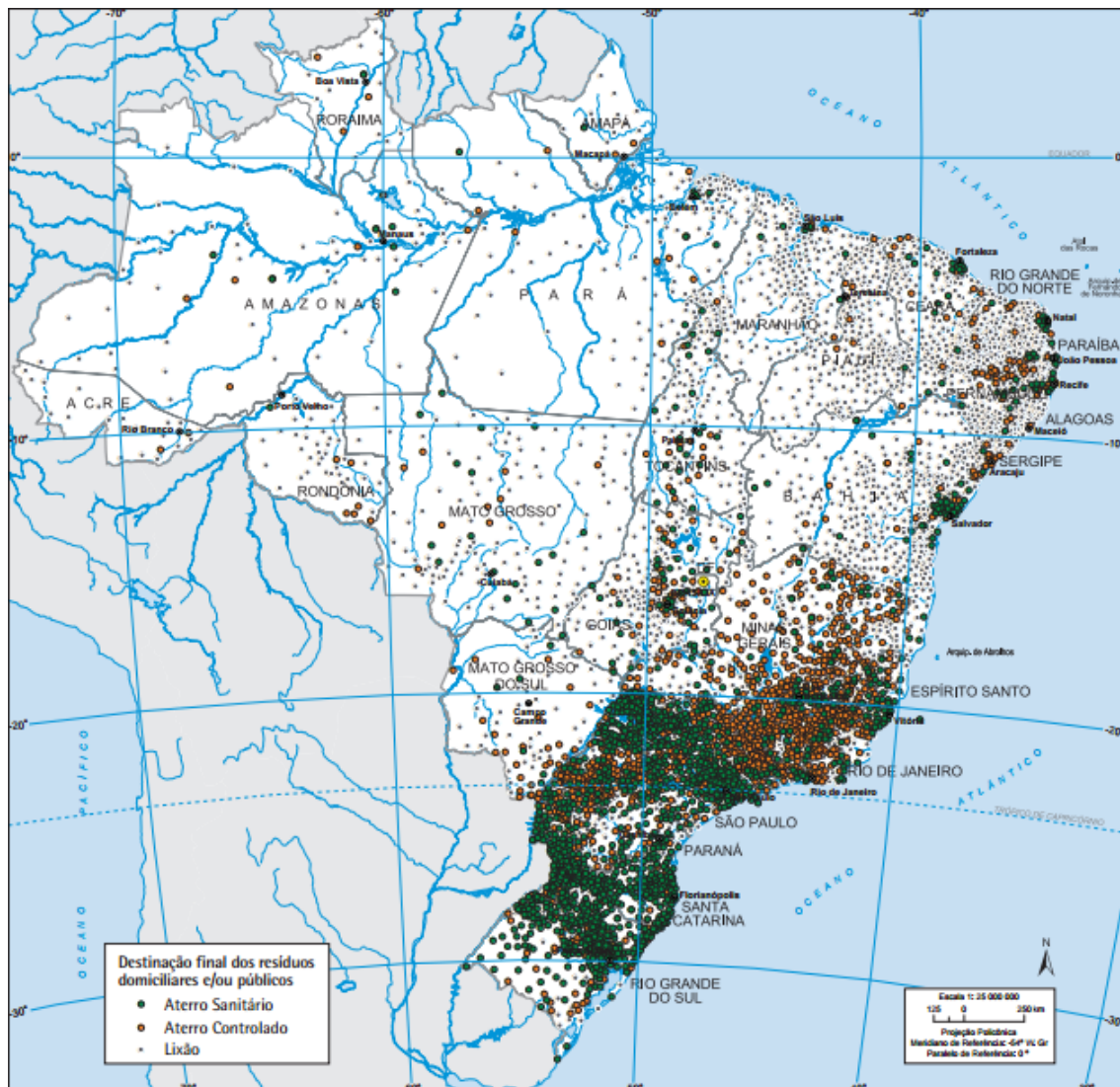
Figura 3 – Aterro sanitário metropolitano localizado no município de Santa Rita



Fonte: TAVARES, 2010

A Figura 4 traz um mapa do Brasil que evidencia o panorama de destinação final dos resíduos domiciliares e/ou públicos no país, especificamente para os casos de aterro sanitário, aterro controlado e lixão. Uma análise da imagem nos permite perceber que os aterros sanitário e controlado se concentram nas regiões Sul e Sudeste do país, havendo nas demais regiões uma predominância dos lixões como disposição final dos resíduos gerados e carência de destinação adequada para este material.

Figura 4 – Destinação final dos resíduos domiciliares e/ou públicos



Fonte: IBGE, 2010

3.2 Estabilidade de Taludes

Segundo a ABGE (2009), taludes provenientes da má execução de aterros podem provocar movimentos de massa. A estabilização de taludes se caracteriza na geotecnia em sistemas capazes de garantir que o maciço cesse sua movimentação, sendo ele a base de rocha, terra ou misto, em que este último é composto pelos dois materiais anteriores.

A cobertura vegetal, segundo Gray e Leiser (1982), apresenta efeitos favoráveis e desfavoráveis na estabilidade de taludes. Segundo esses autores, entre os efeitos favoráveis está a redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardam e diminuem a quantidade efetiva de água que se infiltra no solo. Os pesquisadores citam ainda como vantagem da cobertura vegetal

o acréscimo da resistência do solo devido às raízes, que podem aumentar a resistência do solo pelo reforço mecânico e pelo escoramento - raízes pivotantes e profundas.

Entre os fatores desfavoráveis da cobertura vegetal, os autores supracitados citam o efeito alavanca - força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas pelo vento, efeito cunha - pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha, e sobrecarga vertical - causada pelo peso das árvores, o que pode ser benéfico ou não, em vista da inclinação das encostas e características do solo.

De acordo com Augusto (2009), os aterros sanitários são classificados como talude artificial, isto é, trata-se de um declive de aterro construído a partir de materiais de diferentes granulometrias e considerados rejeitos, podendo ter diferentes origens.

Segundo Tonus (2009), a ocorrência de ruptura de taludes aumenta, principalmente, devido ao aumento da urbanização e do desenvolvimento de áreas sujeitas a escorregamentos, desflorestamento contínuo destas áreas sujeitas a escorregamentos e pelo aumento das taxas de precipitação causadas pelas mudanças de clima.

Para solucionar este problema geotécnico em taludes, segundo publicações da ABGE (2009), é necessário ter conhecimento geológico e geomecânico dos materiais que os formam, conhecimento das características climáticas (com destaque para o regime pluviométrico), caracterização geomorfológica e de uso e ocupação, assim como os possíveis modelos ou mecanismos de ruptura, conhecimento dos fatores que influenciam, condicionam e desencadeiam as instabilidades.

Diante disso, a ABGE (2009) conclui que a estabilização do talude só pode ser iniciada após caracterizar a geologia da região, as propriedades do solo, o clima, a drenagem e a ocorrência de movimento ou não na encosta.

3.2.1 Movimentos de massa

Segundo Marangon (2009), a classificação dos movimentos de massa se dá principalmente segundo a grande quantidade de materiais e processos envolvidos na movimentação de material, adotando critérios como a velocidade do movimento, a deformação, a geometria da massa e a presença de água.

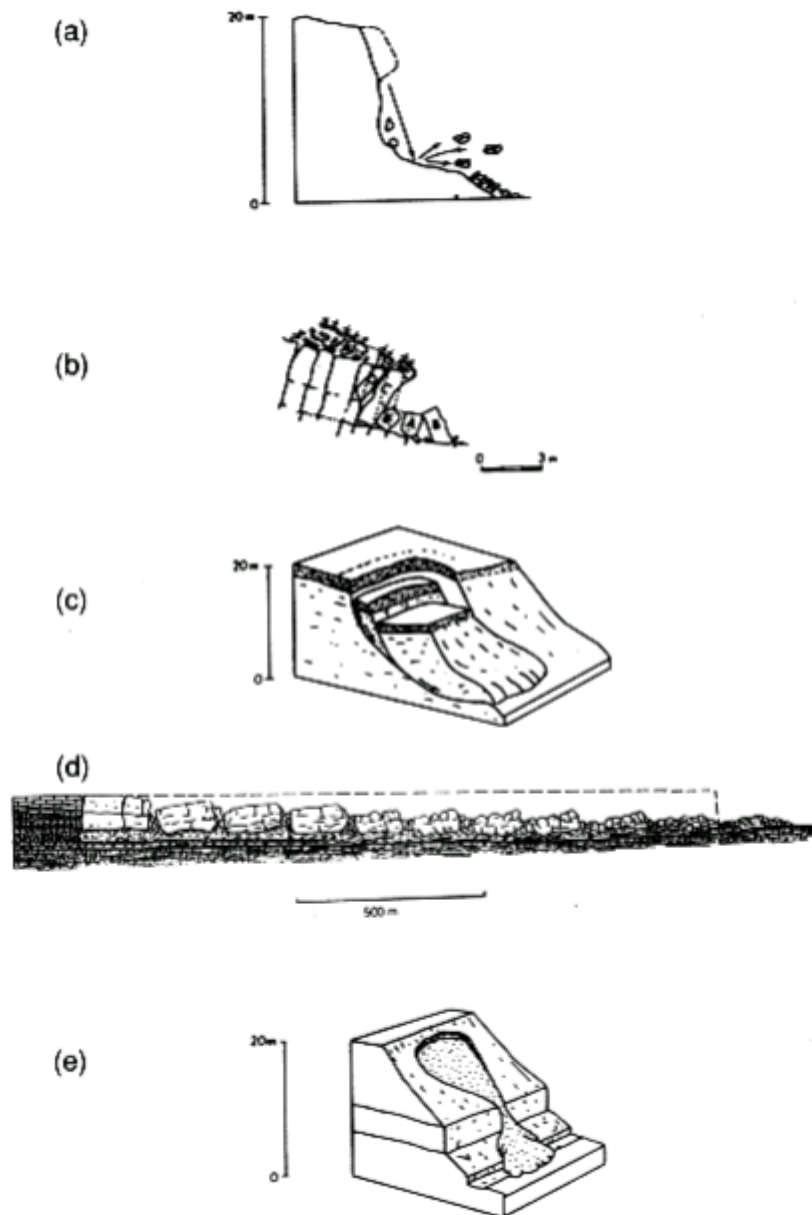
Segundo Dyminski (2012), os tipos de movimentos de massa podem ser classificados em cinco:

- a) Quedas ou descolamentos (*falls*): destacamento ou “descolamento” de solo ou rocha de um talude íngreme;

- b) Desprendimento (*topless*): rotação de massa de solo ou rocha em um ponto ou eixo abaixo do centro de gravidade da massa deslizante;
- c) Escorregamento (propriamente dito ou *slide*): movimento de descida de massa de solo ou rocha, tendo uma superfície de ruptura bem definida. Geralmente o centro de rotação está acima do centro de gravidade da massa deslizante. Quando ocorre lenta e progressivamente, pode receber também o nome de rastejo ou *creep*;
- d) Espalhamento (*spread*): descreve movimentos relativamente rápidos de massas de argila, que podem ter estado estáveis por muito tempo, que se deslocam para frente por uma distância considerável;
- e) Corridas de lama (*mud flow*): Movimentos muito rápidos de solo argiloso mole, que se move como se fosse um fluido viscoso. Movimentos de “fluxo” também podem acontecer com outros materiais, por exemplo, areia seca.

A Figura 5 ilustra os tipos de escorregamento de taludes.

Figura 5 – Tipos de escorregamento de taludes



Fonte: UFPR - Notas de Aula - Estabilidade de Taludes – Andrea Sell Dyminski

Os autores Virgili e Augusto (2009) citam como as principais causas de instabilizações observadas em aterros capazes de causar movimentos de massa em taludes, as seguintes:

- a) Problemas de fundação
 - i. Recalques ou rupturas, principalmente na fase de execução, devido à existência de solos com baixa capacidade de suporte;
 - ii. Assentamento direto sobre maciços rochosos inclinados;
 - iii. Surgências d'água não-tratadas no terreno da fundação;

- iv. Não-Remoção da vegetação e do solo orgânico, causado a formação de caminhos preferenciais de percolação na base do aterro;
 - b) Problemas no corpo do aterro: má compactação, materiais inadequados, geometria inadequada e deficiência de drenagem superficial;
 - c) Problemas em travessia de linhas de drenagem;
 - d) Problemas no sistema de drenagem e de proteção superficial.

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOSINTÉTICOS

Geossintéticos são produtos industrializados, fabricados com pelo menos um componente polímero sintético ou natural. Apresentam-se na forma de manta, de tira, ou de estrutura tridimensional e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental. É uma das tecnologias mais avançadas mundialmente, uma vez que há um processo contínuo de melhora do desempenho dos produtos existentes, baseado em pesquisas e na observação do comportamento do geossintético na obra (International Geosynthetic Society – IGS, 2012).

Segundo Bueno (2004), os geossintéticos são constituídos essencialmente por polímeros e, em menor escala, por aditivos. No geral, são utilizados produtos sintéticos derivados do petróleo, fibras naturais, além de uma grande variedade de outros materiais que são agregados aos geocompostos. Os principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos são o polietileno, o poliéster, o poliestireno, a poliamida, o polipropileno e o polivinil clorado.

Dentre as principais vantagens de utilização dos geossintéticos podemos citar, de acordo com a IGS (2012), sua versatilidade, pois permitem aos fabricantes disponibilizar continuamente novos produtos, com propriedades específicas que melhor atendam às necessidades de cada projeto.

A indústria de produção de geossintéticos Geofoco (2014) cita algumas vantagens do produto, tais como a facilidade de instalação em relação aos agregados naturais, o que proporciona um menor tempo de execução de obras e maior produtividade, controle de qualidade, e também a preservação de recursos naturais, uma vez que por serem produtos alternativos aos materiais naturais, os geossintéticos favorecem a preservação destes recursos.

“A confiabilidade de produtos com controle de qualidade industrial e a disponibilidade de produtos com propriedades mecânicas e hidráulicas capazes de suportar solicitações extremas, permitem aos projetistas não apenas realizar obras com menor custo, mas também realizar obras com muito maior segurança, tanto em termos da proteção do meio ambiente, quanto em termos de carregamentos aplicados como, por exemplo, o confinamento de resíduos com risco de contaminação ou aterros de paredes quase verticais de mais de 80 metros de altura. No caso do confinamento de resíduos em aterros sanitários e industriais, a utilização dos geossintéticos, devido à sua

pouca espessura aumenta a capacidade das valas, resultando também em maior volume de resíduos armazenados.” (IGS, 2012).

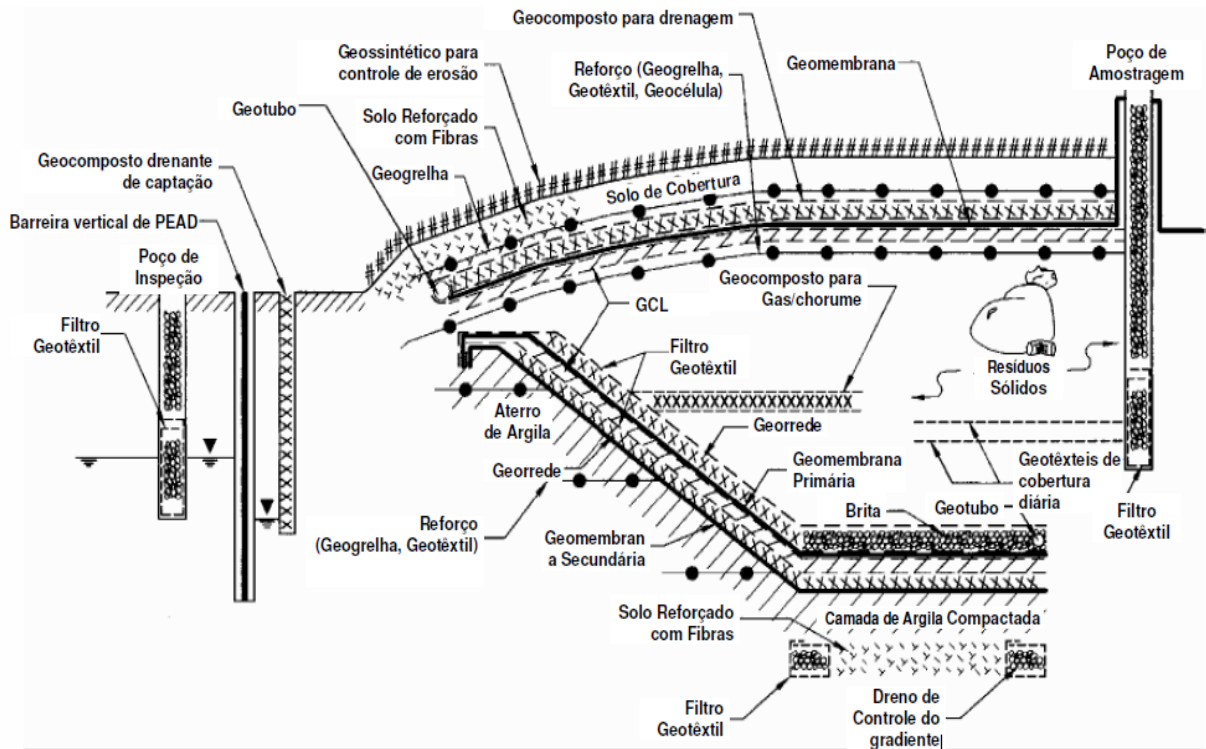
4.1 Aplicação de geossintéticos em obras de disposição de resíduos

Em uma obra de engenharia, os geossintéticos podem exercer, simultaneamente, uma ou mais funções. A seguir, são definidas as principais funções, de acordo com a norma NBR ISO 10318:2013 – Geossintéticos – Termos e Definições:

- a) Controle de erosão superficial: Prevenção de erosão superficial de partículas de solo devido a escoamento superficial de um fluido;
- b) Drenagem: Coleta e condução de um fluido pelo corpo de um geossintético;
- c) Filtração: Retenção de um solo ou de outras partículas, permitindo a passagem livre do fluido em movimento;
- d) Impermeabilização: Bloqueio ou desvio de fluidos;
- e) Reforço: Utilização das propriedades mecânicas de um geossintético para a melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica;
- f) Separação: Ação de impedir a mistura ou interação de materiais adjacentes.

A Figura 6 ilustra um exemplo de aterro sanitário com tipos diferentes de geossintéticos, exercendo suas principais funções.

Figura 6 - Geossintéticos aplicados em aterro sanitário



Fonte: IGS, 2012

4.2 Classificação dos Geossintéticos

Os materiais geossintéticos estão em contínuo desenvolvimento e aprimoramento de seus processos de fabricação. Desta forma, novos geossintéticos são desenvolvidos constantemente, de modo que até a data de conclusão deste estudo, muitos podem não ter sido ainda categorizados.

A classificação apresentada neste trabalho está em acordo com a NBR 12.553 – Geossintéticos – Terminologia, que categoriza os geossintéticos de acordo com processo de fabricação. Para este estudo, os geossintéticos apresentados a seguir se limitaram aos mais usualmente utilizados em obras de aterros sanitários.

4.2.1 Geocélula

A geocélula caracteriza-se por ser um produto com estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, com função predominantemente de reforço e controle de erosão (VERTEMATTI, 2009).

Segundo a fabricante de geossintéticos Inovageo, a geocélula é ideal para aplicação em revestimento de canais, proteção de margens, controle de erosão, revegetação, pavimentação, pavimentos flexíveis e caminhos provisórios ou definitivos em praias ou dunas de areia. A Inovageo aponta ainda que geocélulas são ideais para fechamento de aterro sanitário, devido a suas características de durabilidade, soldas de alta resistência e estabilidade anti-raios UV, é uma solução que garante uma superfície verde e estável sobre a geomembrana, preservando sua integridade.

A Figura 7 ilustra a execução e aplicação de geocélulas da empresa Inovageo em obras de aterro.

Figura 7 – Geocélulas



Fonte: Inovageo (2016)

A Tabela 1 e a Figura 8 mostram um exemplo de aplicação prática de geocélula, da empresa Estre Ambiental S.A. em São Paulo, cujo uso ocorreu sobre a aplicação de uma manta geotêxtil, de forma a garantir a retenção do material de preenchimento da geocélula, evitando assim o deslizamento da camada de solo de cobertura.

Tabela 1 - Utilização de Geocélula em revestimento de descidas d'águas em aterro sanitário

Caso 1: Solução alternativa para sistema de drenagem de águas pluviais em aterro sanitário	
Solução	Emprego de geotêxtil e geocélula, canalizando e direcionando as águas pluviais, visando manter a estabilidade do solo de cobertura do aterro.
Vantagens	Geocélula como elemento de revestimento em descidas de águas nos aterros: retenção eficaz do material de preenchimento; rapidez de execução, alta produtividade, limpeza e organização durante a execução da obra, flexibilidade do revestimento - permitindo que acompanhe os recalques do aterro, custo comparativamente inferior às soluções tradicionais.
Local	Paulínia, SP
Data	Agosto de 2008

Fonte: BIDIM, 2008

Figura 8 – Utilização de Geocélula e geotêxtil em revestimento de descidas d'águas em aterro sanitário em Paulínia, SP



Fonte: BIDIM, 2008

4.2.2 Geocompostos

Segundo Vertematti (2004), geocomposto é um produto industrializado formado pela superposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si ou com outros produtos, geralmente concebido para desempenhar uma função específica. O objetivo de tais combinações é agrupar as características desses materiais, melhorando as funções dos mesmos.

As funções básicas desempenhadas pelos geocompostos, segundo Pimentel (1999) são:

- a) Separação;
- b) Reforço;
- c) Filtração;
- d) Drenagem;
- e) Impermeabilização.

Ainda segundo Pimentel (1999), os principais tipos de geocompostos existentes no mercado com aplicação direta em aterros sanitários são o geocomposto para barreira impermeabilizante (GCL) e o geocomposto para drenagem.

4.2.3 Geocomposto para barreira impermeabilizante (GCL)

O Geocomposto de Bentonita é conhecido também como Geosynthetic Clay Liner ou GCL, e de acordo com Well (1999), o uso deste material é bem recente. Sua primeira aplicação ocorreu nos Estados Unidos em 1986 em aplicação dentro de um aterro sanitário, como a camada inferior a uma geomembrana.

Trata-se de uma barreira hidráulica geossintética constituída por argila bentonítica sódica encapsulada em geotêxteis ou geomembranas, os quais são unidos por agulhamento, ponteameto ou adesivos químicos. O Geocomposto de Bentonita substitui a argila compactada com grandes vantagens em obras de contenção de poluentes (MPZ, 2016).

A Tabela 2 mostra uma análise técnica comparativa entre o geocomposto de bentonita e a argila compactada para o uso em sistemas impermeabilizantes.

Tabela 2 - Análise comparativa entre GCL e argila compactada para impermeabilização

Propriedade	Argila Compactada	GCL
Permeabilidade	10^{-8} a 10^{-7} cm/s	10^{-14} a 10^{-9} cm/s
Espessura	30 a 90cm	4 a 6mm

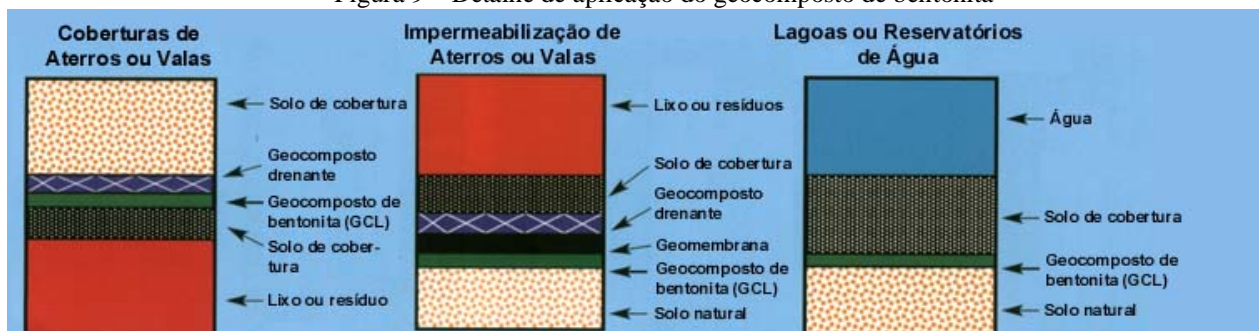
Execução	Lenta, depende de fatores climáticos e distância até jazida	Rápida, simples instalação
Influência de fatores climáticos	Sim	Não
Influência de recalques	Sim	Não
Volume útil de Armazenamento	Menor	Maior, devido à pequena espessura

Fonte: MPZ Aplicações Tecnológicas, 2016

Até 1992, estima-se que 50% do uso do GCL nos Estados Unidos devia-se a aplicação em bases de aterros sanitários, segundo a fabricante MPZ Aplicações Tecnológicas. Outras aplicações deviam-se a coberturas de aterros sanitários (35%), em proteção secundária de tanques de combustíveis (10%) e outros (5%).

A Figura 9 mostra em detalhe a aplicação do geocomposto de bentonita.

Figura 9 – Detalhe de aplicação do geocomposto de bentonita



Fonte: MPZ Aplicações Tecnológicas

A tabela 3, juntamente com a figura 10, trazem um exemplo de aplicação prática de geocomposto GCL, executado pela empresa produtora de geossintéticos Geosynthetica em São Paulo. O geocomposto bentonítico foi utilizado juntamente com uma geomembrana com a mesma finalidade de barreira impermeabilizante, porém como reforço para o caso de eventual perfuração da geomembrana, a fim de conter o fluxo de percolado.

Tabela 3 - Utilização de geocomposto GCL como reforço para impermeabilização de aterro sanitário

Caso 2: Solução para impermeabilização de fundo de aterro sanitário	
Solução	Emprego de geomembrana de PEAD juntamente com o geocomposto GCL, a fim de conter o de percolado caso ocorra a perfuração da geomembrana.
Vantagens	Retenção eficaz do percolado; rapidez de execução, alta produtividade, limpeza e organização durante a execução da obra; capacidade de acomodação devido a plasticidade e regeneração da bentonita.
Local	São Paulo, SP
Data	Abril de 2014

Fonte: Geosynthetic (2015)

Figura 10 - Geocomposto bentonítico aplicado em obra de aterro sanitário



Fonte: Geosynthetic (2015)

4.2.4 Geocomposto para drenagem

O Geocomposto drenante é formado pela georrede de PEAD - que atua como elemento drenante, unida em uma ou nas duas faces a um geotêxtil não tecido - que atua como filtro, ou ainda unida em uma face por um geotêxtil não tecido e na outra por um filme impermeável de Polietileno. É um Sistema utilizado em obras de Engenharia, tendo como funções principais a

drenagem de líquidos e gases, retenção de partículas de solo e resíduos, e a proteção mecânica (Inovageo, 2014).

Ainda de acordo com o fornecedor de geossintéticos Inovageo, entre as principais vantagens do uso deste material está a possibilidade de substituição de camadas espessas de materiais naturais, como pedra britada, seixo rolado, cascalho e areia, além da elevada capacidade de vazão, e excelentes resistências mecânica, química e ao intemperismo.

A empresa de geossintéticos Luschi (2016), cita como principais características dos geocompostos drenantes:

- a) Alivia pressões e empuxos hidrostáticos;
- b) Evita o carregamento de partículas de solos;
- c) Protege os sistemas de impermeabilização;
- d) Cria um colchão entre a estrutura e o solo minimizando a transferência de vibrações;
- e) Não-contaminante e resistente aos ataques químicos e biológicos;
- f) Pode ser usado em drenagens verticais e horizontais.

A figura 11 traz um exemplo de geocomposto drenante da marca Luschi, fabricada a partir de filamentos de polipropileno ou poliamida (nylon), apresentando índice de vazios em torno de 95%. O núcleo é termosoldado a um ou dois geotêxteis não-tecidos de poliéster em todos os pontos de contato, de acordo com o catálogo do fabricante.

Figura 11 – Exemplo de geocomposto drenante



Fonte: Luschi (2016)

Em meados de 2005 iniciou-se a construção do sistema de drenagem de gases no aterro sanitário de Villa Dominico (Argentina) que abrange uma área de 40 hectares através de 30

drenos superficiais de 100m de extensão cada. A solução adotada utiliza geocomposto para drenagem MacDrain® FP 2S para a captação dos gases e uma camada de geomembrana MacLine® para impermeabilização e estanquidade do sistema (Maccaferri, 2006).

Ainda segundo a fabricante, a empresa holandesa Van der Wiel, encarregada do tratamento dos gases gerados pela decomposição dos resíduos, necessitava de um sistema que atendesse aos requisitos e exigências do protocolo Kioto. Basicamente os gases devem ser coletados por um sistema de drenagem eficaz e queimados em tochas que transformam o gás metano em CO₂, 14 vezes menos contaminante. Esta solução mostrou-se bastante eficiente e rendeu ao aterro um bônus ecológico CER devido à alta taxa alcançada de queima de gás metano.

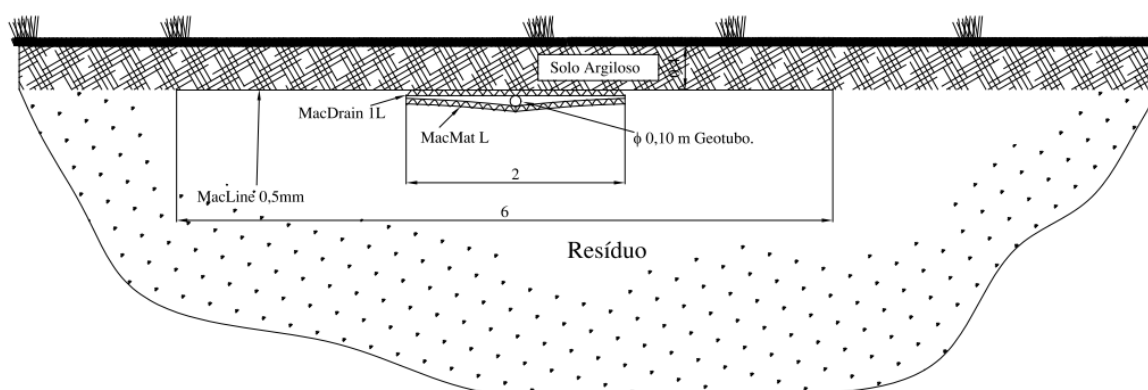
Tabela 4 - Utilização de geocomposto GCL como reforço para impermeabilização de aterro sanitário

Caso 3: Solução para captação de gases com uso de geocomposto e geomembrana em aterro sanitário	
Solução	Uso do geocomposto para drenagem MacDrain® FP 2S para a captação dos gases e uma camada de geomembrana MacLine® para impermeabilização e estanquidade do Sistema de coleta de gases.
Vantagens	Coleta de gases por um sistema de drenagem eficaz e queima em tochas que transformam o gás metano em CO ₂ , 14 vezes menos contaminante que o original. A alta taxa de queima de gás por hora, rendeu ao aterro um bônus ecológico CER (Carbon Emission Reduction), segundo Protocolo de Kioto.
Local	Buenos Aires, Argentina
Data	Abril de 2004

Fonte: Maccaferri (2006)

A figura 12 ilustra a solução adotada de forma bastante clara, evidenciando o encapsulamento do gás através da geomembrana MacLine® e captação dos gases através dos geocompostos drenantes MacLat® e MacDrain®.

Figura 12 – Esquema da seção transversal da solução adotada



Fonte: Maccaferri (2006)

4.2.5 Geogrelha

As Geogrelhas são usadas como elemento de reforço em obras geotécnicas e de proteção ambiental. A característica principal das Geogrelhas é que a abertura da sua malha é grande o suficiente para permitir o entrosamento das partículas do solo ou do material granular em contato com a mesma, proporcionando uma boa interação do conjunto. Para que isto ocorra, tanto os fios, que formam os elementos transversais e longitudinais da Geogrelha, como os nós - cruzamento destes dois elementos, deverão ter a rigidez e a resistência à tração adequada para haver o mecanismo de interação. Este mecanismo se dá através do Inter travamento entre o material de contato, que penetra no interior da malha, tracionando os elementos transversais, os quais transmitem a carga para os elementos longitudinais, através dos nós (Geocam Soluções Ambientais, 2016).

Suzuki (2012) defende em sua tese de mestrado a verticalização de aterros sanitários por meio de reforços com geogrelhas, visando aumentar a sua capacidade de armazenamento. Segundo o autor, o reforço dentro do maciço aumenta consideravelmente o fator de segurança para qualquer altura do aterro.

A figura 13 ilustra exemplo de execução de verticalização de aterro através do uso de geogrelhas, para aumentar capacidade de suporte do solo.

Figura 13 – Uso de geogrelhas Macgrid®



Fonte: Maccaferri (2009)

4.2.6 Geomanta

A geomanta constitui-se em um produto com estrutura tridimensional permeável, usado para controle de erosão superficial do solo, também conhecido como “biomanta” quando biodegradável. Exemplo: geomanta utilizada no controle de erosão superficial de taludes (VERTEMATTI, 2004).

As geomantas utilizadas como condicionadoras de solo podem ser subdivididas em temporárias, do tipo mantas degradáveis (fotodegradáveis, biodegradáveis) e permanentes, ou seja, com capacidade de decomposição em condições naturais ou não (MORGAN & RICKSON, 1995).

Magalhães (2005), em sua tese de mestrado, desenvolveu estudo em um aterro sanitário de Belo Horizonte, Minas Gerais, envolvendo diversas técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. Uma das técnicas apresentadas na tese é a da cobertura da camada final através do uso da biomanta.

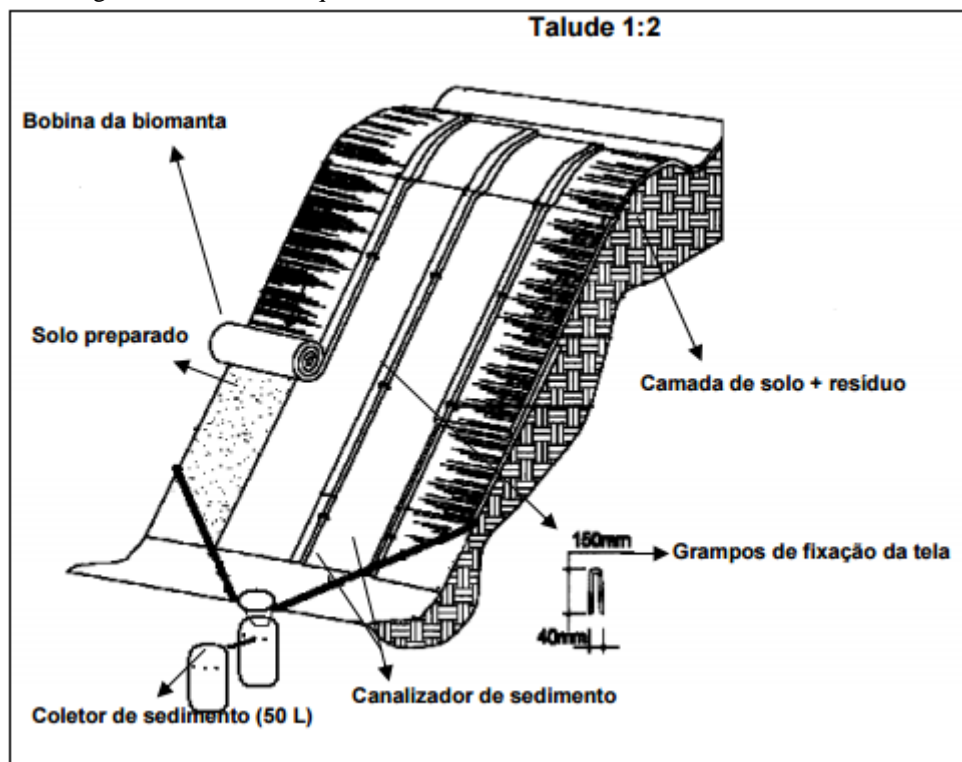
Tabela 5 - Uso de biomanta para evitar processo erosivo em cobertura de aterro sanitário

Caso 4: Estudo do uso da biomanta em cobertura final de aterro sanitário	
Caso	Uso do biomanta para controle de erosão em aterro sanitário, comparando com outros métodos tradicionais.
Vantagens	Além de se apresentar como uma solução de baixo impacto ambiental, contribuindo para a manutenção da cobertura do aterro, a biomanta aplicada auxiliou o desenvolvimento de cobertura vegetal, evitando processos erosivos na superfície do aterro.
Local	Aterro sanitário de Belo Horizonte, MG
Data	2005

Fonte: MAGALHÃES, 2005

O estudo comparativo desenvolvido por Magalhães (2005) apresentou uma série de vantagens na aplicação dos geossintéticos em cobertura final de aterro, com enfoque na facilidade de crescimento das diversas espécies de plantas e sua capacidade de impedir o carreamento de sólidos durante os períodos intensos de chuva. A figura 14 mostra o detalhe esquemático do estudo desenvolvido.

Figura 14 – Detalhe esquemático do uso de biomanta em cobertura de aterro sanitário



Fonte: Magalhães, 2005

4.2.7 Geomembrana

As geomembranas são definidas pela ASTM D4439 como sendo barreiras construídas de membranas bidimensionais sintéticas que apresentam condutividade hidráulica muito baixa, utilizadas na engenharia geotécnica para controlar a migração de fluidos em sistemas, estruturas ou projetos construídos pelo homem.

A geomembrana aumenta o volume de armazenamento de lixo no aterro e conseqüentemente seu tempo de utilização. A aplicação da manta de geomembrana de PEAD impede que o chorume, líquido altamente agressivo produzido pela decomposição do lixo doméstico, entre em contato com o solo e, conseqüentemente, contamine o lençol freático. O material é coletado pelos sistemas de drenagem e encaminhado às estações para que seja devidamente tratado. (PANCINI, 2015)

Macambira (2002) cita como principais materiais utilizados na composição da geomembrana o PEAD (polietileno de alta densidade), VLDPE (polietileno de baixa densidade), CSPE (polietileno clorosulfonado), PVC (policloreto de vinila) e EIA (interpolímero etileno *aloy*).

A tabela 6 mostra um caso ocorrido na unidade de Joinvile da empresa Tupy Fundições, em que toda a área de deposição final de resíduos sólidos industriais não dispunha de nenhum sistema de controle de fluxo. Em função de uma recomendação do órgão ambiental local, foi necessária a revisão e reestruturação de todo o sistema do aterro.

Tabela 6 - Caso de reestruturação de aterro e impermeabilização com geomembrana

Caso 5: Solução para controle de fluxo e reestruturação em sistema de aterro sanitário	
Solução	Utilização de um conjunto de geossintéticos formado por geomembranas e geocompostos bentoníticos para impermeabilização e estanqueidade do sistema; geotêxteis não tecidos para separação de camadas e proteção mecânica das geomembranas; e geocompostos para drenagem de gases gerados pela decomposição dos resíduos.
Vantagens	Controle do percolado e deposição segura dos resíduos, facilidade de construção, produtividade, economia, aumento do volume útil do sistema devido à pequena espessura do material da geomembrana.
Local	Joinvile, Santa Catarina
Data	Fevereiro de 2005

Fonte: Maccaferri (2007)

A figura 15 ilustra a aplicação da geomembrana, no momento em que os operários estão desenrolando o rolo sobre a superfície a ser impermeabilizada.

Figura 15 – Aplicação de geomembrana em obra de impermeabilização de aterro sanitário



Fonte: PARANHOS, 2013

4.2.8 Georrede

Bathurst (2013) aponta que as georredes possuem estrutura tridimensional com grande volume de vazios e principal aplicação em drenagem, pois conseguem propiciar grandes vazões apesar da pequena seção transversal. É comum seu uso em conjunto com outros geossintéticos formando os geocompostos.

Ainda segundo o autor, são materiais com aparência semelhante à das grelhas e formados por duas séries de membros extrudados paralelos, que se interceptam em ângulo constante. Possuem alta porosidade ao longo do plano, sendo usadas para conduzir elevadas vazões de fluidos ou gases.

A primeira utilização de georredes em aterros de resíduos, surge nos Estados Unidos em 1984, associada à drenagem de lixiviados (DUARTE, 2009). Desde a sua origem até 1994, as georredes eram inseridas na família das geogrelhas, pois apresentavam um processo de fabrico semelhante. No entanto, o fator que motivou a separação e a criação da família das georredes foi a principal diferença entre elas, a função. Enquanto que as geogrelhas se destinam a funções de reforço, as georredes são associadas a funções de drenagem (CARNEIRO, 2009).

O geocomposto para drenagem citado no caso 4, do tópico de geomembrana é formado por uma camada de georrede, que auxilia na drenagem dos gases. A georrede é ilustrada através da figura 15.

Figura 16- Georrede



Fonte: Geofoco, 2013

4.2.9 Geotubo

Geotubos podem ser usados em aterros sanitários para facilitar a coleta e drenar rapidamente o chorume, conduzindo-o para um sistema de tratamento. (ZORNBERG, 2013)

A Engepol (2012) cita como principais vantagens dos geotubos de PEAD em relação a outros materiais, como o ferro e o concreto:

- a) Instalação mais rápida, reduzindo cerca de 30% o tempo de execução da obra;
- b) As emendas são feitas fora da vala, o que permite que a largura da vala seja apenas o suficiente para acomodar o tubo e o material de aterro;
- c) O PEAD não sofre ataque de produtos químicos encontrados na água, esgoto ou chorume;
- d) O PEAD possui alta resistência mecânica, não quebra quando submetido a fortes impactos;

- e) Devido à baixa possibilidade de haver incrustação, conserva suas características hidráulicas, por longos anos, sem qualquer modificação. Os demais materiais são susceptíveis a depósito no interior do tubo, o que diminui o diâmetro da tubulação com o tempo;
- f) Os tubos de PEAD são leves, portanto são facilmente transportados para locais altos ou de difícil acesso;
- g) As perdas do líquido transportado são mínimas, uma vez que são soldados, havendo redução na utilização das juntas.

A figura 17 ilustra este tipo de geossintético atuando na drenagem de líquidos percolados em aterro.

Figura 17 – Geotubo - normalmente utilizado para drenagem de líquidos e gases



Fonte: Geofoco (2014)

4.2.10 Geotêxtil (tecido e não-tecido)

Os geotêxteis podem agrupar-se essencialmente em dois grandes grupos, tecidos e não-tecidos. Um geotêxtil tecido obtém-se por entrelaçamento, geralmente em ângulo reto, de dois filamentos, de vários feixes de filamentos ou em bandas. Os geotêxteis não-tecidos são materiais permeáveis constituídos por fibras orientadas direccional ou aleatoriamente e ligadas numa estrutura plana. (GOMES, 2001)

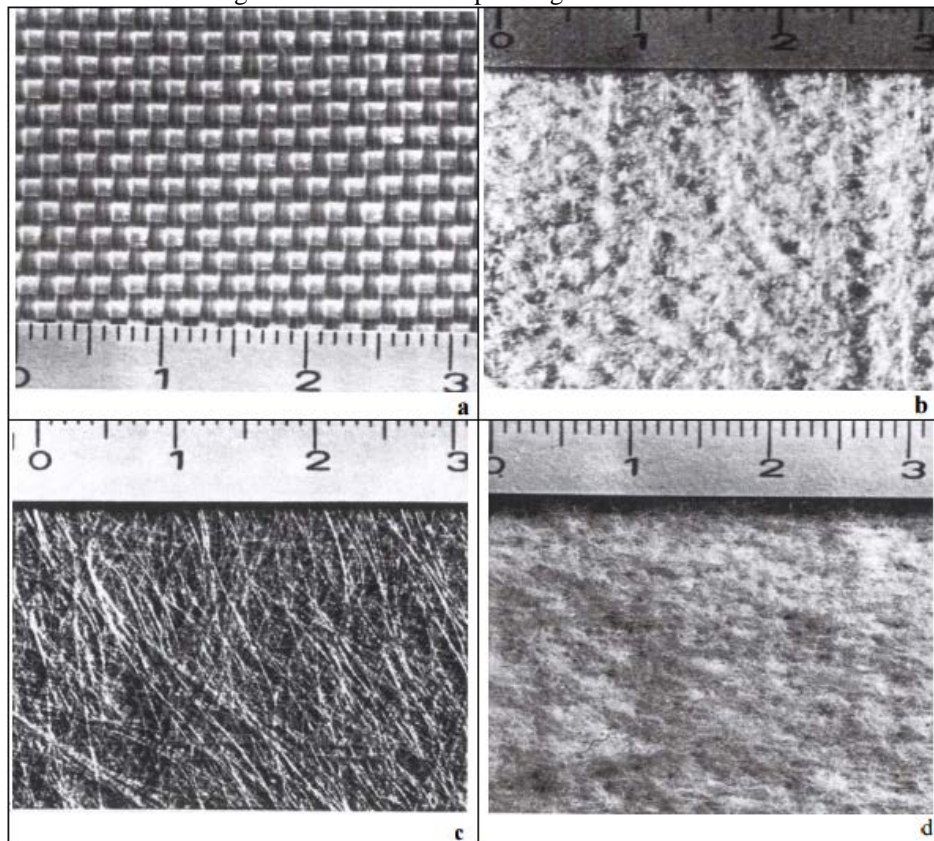
Ainda segundo a autora, esta ligação pode ser obtida por processos mecânicos - entrelaçamento dos filamentos provocados por agulhas, designando-se neste caso de agulhagem, químicos - a ligação é feita por colagem das fibras utilizando resinas ou emulsões, ou térmicos -

em que a ligação é feita por fusão parcial das fibras conseguida pela ação conjunta da pressão e temperatura exercida por dois rolos aquecidos.

De acordo com Gomes (2011), os geotêxteis podem ser constituídos por fibras têxteis, sendo estas de dois tipos: naturais e químicas. As fibras naturais (lã, seda, algodão, linho, amianto, etc.), só muito raramente são empregues, dado o seu comportamento biodegradável. De entre as químicas destacam-se as fibras de polímeros sintéticos que são as mais utilizadas na fabricação de geotêxteis e dos produtos afins.

A figura 14 traz diferentes tipos de geotêxteis: a) geotêxtil tecido, b) geotêxtil não-tecido ligado quimicamente, c) geotêxtil não tecido ligado termicamente, e d) geotêxtil não-tecido ligado mecanicamente (por agulhagem).

Figura 18 – Diferentes tipos de geotêxteis



Fonte: Gomes (2001)

4.3 Propriedades dos Geossintéticos

As propriedades dos geossintéticos são fatores que traduzem as condições técnicas a que serão submetidos quando em serviço, e servem de parâmetro na seleção do material mais adequado a ser empregado em determinada situação. (BUENO, 2009)

A tabela 7 apresenta as normas relacionadas às principais propriedades de geotêxteis. Devido à inexistência de normas brasileiras para todos estes ensaios, o projetista deve recorrer a normas internacionais que mais se adequem à finalidade e situação que encontrar.

Tabela 7 - Ensaio realizados em geotêxteis e normas correspondentes

Ensaio realizados em geotêxteis e produtos correlatos		
Propriedades	Norma	Observações
Físicas		
Massa por unidade de área	NBR 12568, ISSO 9864, ASTM D 3776;	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Espessura nominal	NBR 12569, ISSO 9863, ASTM D5199	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Porosidade	-	Determinação analítica
Compressibilidade	-	Tensões usuais, de 10 a 200 kPa
Resistência à tração: - Faixa larga - Faixa restrita ou grab - Elementos de geogrelha - Multidirecional	NBR 12824, ATM D 4595, ISSO 10319 ATM D 4632 GG1 e GG4 ASTM D 5716	Verificar dimensão de corpos de prova para cada ensaio, de acordo com norma
Resistência ao puncionamento - Estático (CBR) - Dinâmico (queda do cone)	NBR 13359, ISO 12236 NBR 14971, ISSO 133433, EN 918	Pistão com diâmetro de 50mm Cone de 500g, altura de queda de 500mm
Resistência a propagação de rasgo	ATM D 4533	-
Resistência a estouro	ASTM D 3786	-
Fluência sob tração	ISO 13431, ASTM D 5262	-
Hidráulicas		
Permissividade	ISO 11058	-
Transmissividade	ISO 12958	-
Filtração: - Abertura de filtração - Abertura aparente	ISO 12956 AFNOR G 38 087; ASTM D 4751	Peneiramento úmido de solo bem graduado Peneiramento a seco com esferas de vidro
Desempenho		

Resistência a tração confinada	-	Não há norma específica ainda. Interesse maior para geotêxteis não-tecidos
Fluência confinada	-	Não há norma específica ainda.
Resistências de interface: - arranchamento - cisalhamento direto - plano inclinado	ISO 13427 e ASTM D 5321	Não há norma específica ainda Procedimento de mecânica dos solos
Resistência a abrasão	ISO 13427	-
Filtração de longa duração	ASTM D 5101	-
Danos de instalação	ISO 10722, ASTM D 5818	-

Fonte: BUENO, 2009

A seguir, serão apresentadas as principais propriedades relacionadas aos geossintéticos.

4.3.1 Gramatura

A gramatura é a relação entre massa e área de um corpo de prova de geometria regular. O valor médio de dez determinações, expresso em g/m², representa a gramatura média do geotêxtil, que está associada ao custo do produto e à sua resistência mecânica. (BUENO & VILAR, 2004).

A norma brasileira que descreve os procedimentos associados à correta determinação do índice de gramatura de um geossintético é a NBR 12568.

4.3.2 Espessura nominal

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 (2 kPa para geotêxteis e 20 kPa para geomembranas por 5 segundos).

As normas americanas que servem de parâmetro internacional para realização destes ensaios são ASTM D 5199/01 e ASTM D 6525/00.

4.3.3 Porosidade

Vertematti (2004) define a porosidade como a relação entre o volume dos poros e o volume total de uma amostra. O autor indica a expressão para obtenção dos parâmetros como:

$$n_{GT} = \left(1 - \frac{\mu_A}{t_{GT} * p_f * p_w} \right) * 100\%$$

Onde:

n_{GT} = porosidade;

μ_A = gramatura;

t_{GT} = espessura;

p_f = massa específica da fibra ou filamento que constitui o geotêxtil;

p_w = massa específica da água;

4.3.4 Compressibilidade

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

4.3.5 Resistência à tração

De acordo com a NBR 12824 (Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada - Ensaio de tração de 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 a resistência à tração última do material, em kN/m; deformação na ruptura, em %; e a resistência a 2,5,8 e a 10% da deformação, em kN/m.

A figura 19 registra o ensaio realizado em laboratório para a obtenção de tais parâmetros.

Figura 19 – Ensaio de resistência à tração



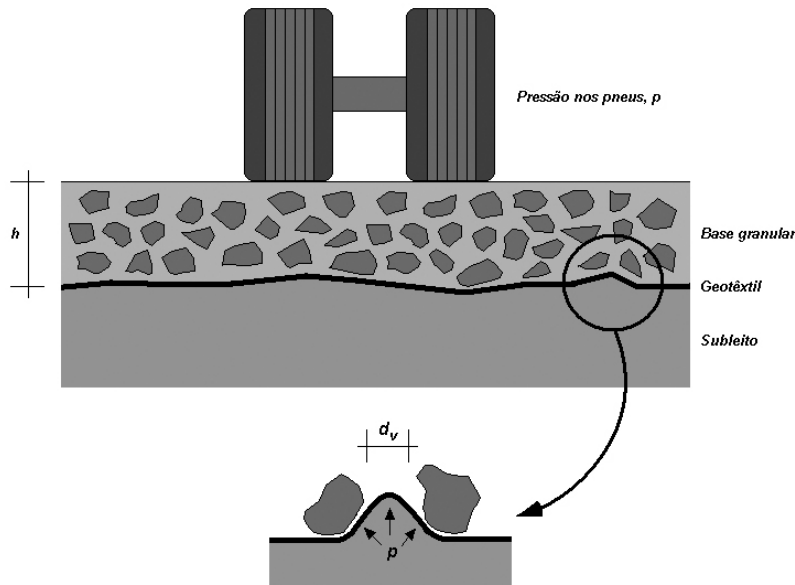
Fonte: Maccaferri (2009)

4.3.6 Resistência ao estouro

Para obtenção do parâmetro de resistência ao estouro, em Pa, um corpo de prova é fixado a um diafragma expansível, de acordo com a Maccaferri (2009). O diafragma é expandido por pressão fluida até atingir a ruptura do corpo de prova. A diferença entre a pressão total necessária para romper o material e a pressão para inflar o diafragma é reportada como sendo a resistência ao estouro do geossintético.

A figura 20 traz um exemplo prático de uma situação em que é necessário saber a resistência ao estouro do geotêxtil para determinar a viabilidade de sua aplicação. Na imagem, o geotêxtil está sendo tracionado no vazio entre as partículas de solo granular.

Figura 20 - Geotêxtil sendo tensionado no vazio entre as partículas de solo granular



Fonte: Koerner, 1998

4.3.7 Resistência à propagação de rasgos

A norma ASTM D 4533 estabelece o método padrão para resistência ao rasgo reapezoidal em geotêxteis, e define parâmetros para o ensaio de resistência à propagação de rasgos.

De acordo com o órgão American Society for Testing and Materials, responsável pela elaboração da norma, o ensaio de resistência ao rasgo trapezoidal é um método que produz tensão sobre um corpo de prova de formato trapezoidal, em que sobre sua base menor é realizado um pequeno corte. Fixa-se a garras do equipamento os lados não paralelos do trapézio, e aplica-se força crescente de afastamento das garras. Dessa maneira são adquiridas a força aplicada e a extensão provocada por essa força.

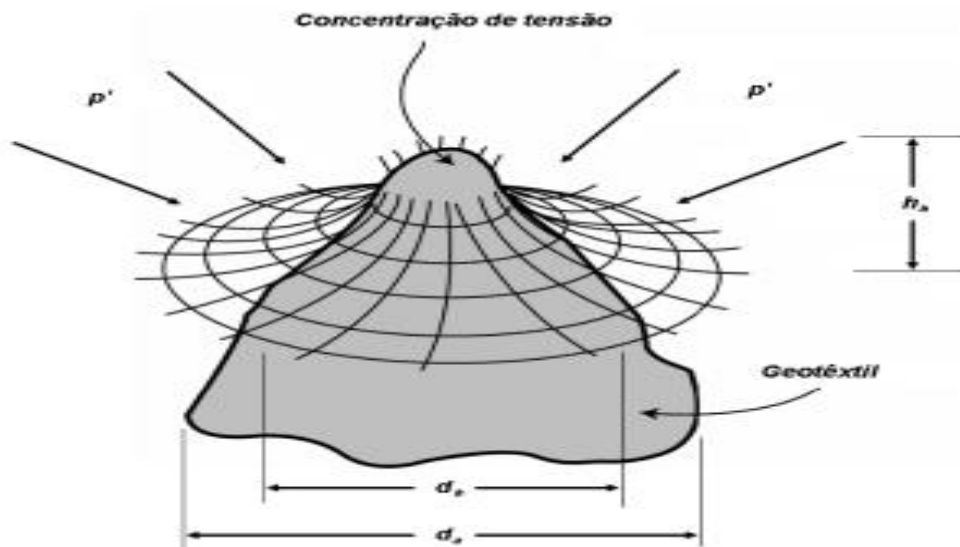
4.3.8 Resistência a puncionamentos

A propriedade de resistência a puncionamentos de um geotêxtil tem importância devido à etapa construtiva de instalação do mesmo, onde é requerido que o material resista a este processo independentemente do tipo de aplicação, segundo Bueno (2004).

O autor supracitado aponta como outra situação prática à qual estão submetidos os geotêxteis a exposição a esforços de compressão localizados, como ocorre em situações de contato com material granular.

Ainda segundo Bueno (2004), faz-se a quantificação da resistência a puncionamentos fixando-se um corpo de prova às bordas de um cilindro rígido e submetendo-o a uma força estática ou dinâmica. A força máxima necessária para perfurar o corpo de prova e o deslocamento correspondente são registrados.

Figura 21 - Esquema do puncionamento em geotêxteis



Fonte: Koernerm 1998

4.3.9 Fluência

A fluência, segundo Cazzuffi et al (1997), reflete o comportamento elasto-viscoplástico dos geossintéticos e representa a deformação ao longo do tempo que estes materiais sofrem sob carregamento constante.

Entre os fatores que podem influenciar a fluência de geotêxteis destacam-se: o nível de carregamento (um aumento da carga aplicada tende a acelerar o processo), o tipo de polímero, a temperatura e a presença de confinamento. (COSTA, 1999)

4.3.10 Permissividade

A norma ASTM D 4491 – 99a estabelece o método padrão para condutividade hidráulica (permeabilidade da água) de geotêxteis em termos de permissividade em condições de testes padrão no estado não compactado.

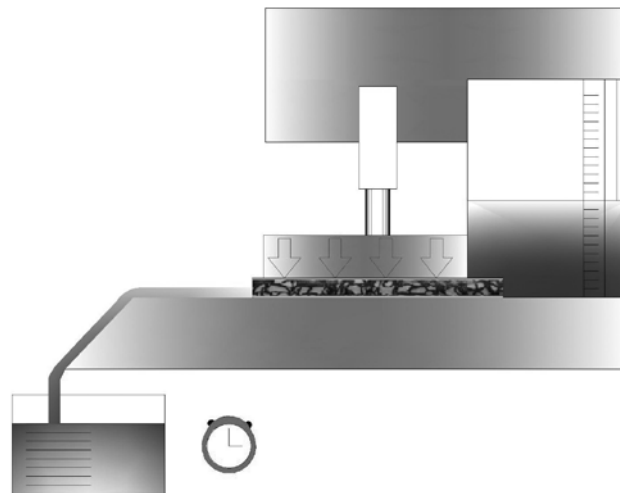
Bueno (2004) afirma que a permissividade de geossintéticos é obtida através do quociente da permeabilidade normal com a espessura do geossintético sob determinada tensão, e que as formas de determinação do coeficiente de permeabilidade são similares às utilizadas em mecânica dos solos, diferindo apenas em relação à precisão dos equipamentos envolvidos, salientando que para geotêxteis a precisão deve ser maior.

4.3.11 Transmissividade

Segundo Bueno (2004), o parâmetro de transmissividade é expresso como produto da permeabilidade no plano do geossintético pela sua espessura, sob determinada tensão normal de confinamento.

A capacidade hidráulica (vazão) 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, obtendo como resultado o valor para o parâmetro de transmissividade - em função das tensões e gradientes aplicados.

As normas deste assunto são a ISO 12958 e ASTM D 4716. A figura 22 esquematiza este ensaio.



Fonte: Maccaferri, 2008

4.3.12 Abertura de filtração

A abertura de filtração refere-se ao diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geotêxtil. Esse parâmetro é determinado por peneiramento úmido. (BUENO, 2004).

O projeto de norma brasileira PNBR 02.153.19-021/01 indica, para determinação da abertura de filtração de um geotêxtil, o lançamento de um fluxo contínuo de água sob pressão sobre uma amostra de solo colocada sobre corpo de prova do geotêxtil ensaiado. O geotêxtil é apoiado sobre uma peneira presa a um agitador, de forma que sob ação da água e vibração, o solo é forçado a atravessar o geotêxtil. O material que passa é então peneirado, possibilitando a determinação da curva granulométrica do solo que passou e abertura de filtração do geotêxtil.

5 SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS

Os sistemas de proteção em aterros sanitários foram, para objeto deste estudo, divididos em cinco principais: Impermeabilização de fundo, drenagem do lixiviado, drenagem dos gases, drenagem de águas pluviais e camada de cobertura.

Esta proteção torna-se essencial para manutenção de qualidade e durabilidade em uma obra de aterro sanitário. A Geofoco (2014) cita a necessidade de:

- a) Drenagem de chorume;
- b) Drenagem de gás;
- c) Drenagem de águas pluviais

A empresa enfatiza também a obrigação de construção de eficientes sistemas de drenagem capazes de evitar a desestabilização do aterro e o risco de colapso futuro.

5.1 Impermeabilização de fundo

Segundo a FEAM (2006), a camada de impermeabilização da base deve garantir a segura separação da disposição de resíduos do subsolo, impedindo a contaminação do lençol freático e do meio natural através de infiltrações de percolados e/ou substâncias tóxicas.

A FEAM cita ainda que para desempenhar essa função de maneira eficiente, a camada de impermeabilização de materiais deve compor-se de solo argiloso de baixa permeabilidade ou geomembrana sintética com espessuras adequadas.

Cempre (2010) afirma que o sistema de impermeabilização de fundo do aterro deve apresentar características como estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica e às intempéries, compatibilidade física, química e biológica com os resíduos a serem depositados no aterro.

O autor cita ainda que este sistema tem por objetivo minimizar a infiltração de lixiviados e biogás no solo de fundação do aterro até concentrações que não prejudiquem o meio ambiente e a saúde humana. Sua execução pode ser realizada por intermédio da compactação do solo, pelo uso de geossintéticos com finalidades impermeabilizantes ou por pela combinação de ambos, em função do porte do aterro. Os principais solos utilizados para esta finalidade são os argilosos. No caso dos geossintéticos, a composição mais utilizada do material é o PEAD.

A figura 23 demonstra a disposição dos geossintéticos aplicados em impermeabilização de base de aterro sanitário em Mauá, São Paulo, administrado pela empresa Lara Central de Tratamento de Resíduos Ltda.

Figura 23 - Disposição de geossintéticos aplicados em impermeabilização de fundo de aterro sanitário



Fonte: Inovageo (2015)

A tabela 8 dispõe dos valores considerados como critério pela ABNT (2010) através da NBR 15849/2010 para possibilidade de dispensa do sistema de proteção de fundo para aterros sanitários de pequeno porte. Esses critérios incluem a porcentagem de matéria orgânica nos resíduos, a profundidade do lençol freático, a permeabilidade do solo local e o valor de excedente hídrico anual.

Tabela 8 - Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo

Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar.		Fração orgânica dos resíduos $\leq 30\%$				Fração Orgânica dos resíduos $> 30\%$			
		Profundidade do freático (m)				Profundidade do freático (m)			
		$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$	$1,50 < n \leq 3$	$3 < n < 6$	$6 \leq n < 9$	$n \geq 9$
Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	$k < 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	$1 \times 10^{-6} \leq k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
	$1 \times 10^{-5} < k \leq$	150	300	600	900	113	225	450	675

	1x10- 4								
--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: ABNT, 2010

5.2 Sistema de drenagem do lixiviado

O bom funcionamento do sistema de drenagem interna de percolados e de gases é fundamental para a estabilidade do aterro sanitário. A drenagem de percolados deve estar inserida entre os resíduos, podendo ser interligada ao sistema de drenagem de gases (FEAM, 2006).

O sistema de drenagem pode ser composto por drenos de material filtrante e tubos perfurados. Segundo BOSCOV (2008), os tipos de solos empregados com função filtrante são as areias, britas, bica corrida (diâmetros entre 0 e 76 mm) e rachão (diâmetros entre 20 e 76 mm).

Para evitar que o sistema de drenagem seja atacado pelo chorume, os seixos quartzosos de origem fluvial (homogêneos e estáveis) costumam ser mais indicados do que as britas (CEMPRE, 2010).

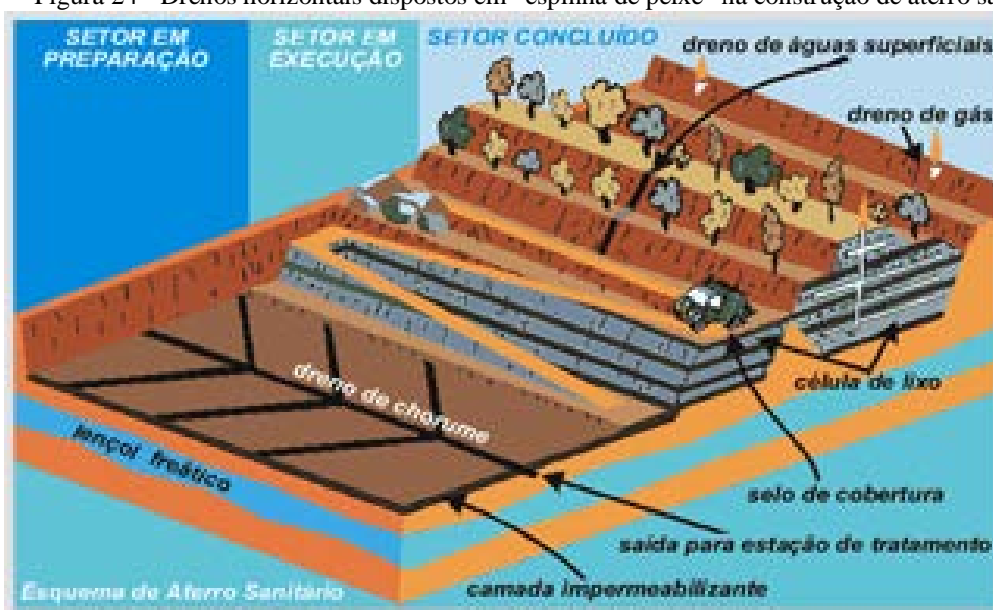
A NBR 15849/2010 que trata de aterros sanitários de pequeno porte recomenda que a drenagem de fundo seja feita com material rochoso ou material que permita espaços livres de forma a evitar a colmatção. Segundo Koerner & Daniel (1997), a introdução de filtros geossintéticos sobre a camada drenante pode impedir a colmatção física ou biológica do próprio geossintético.

A carga hidráulica na base do aterro muitas vezes é suficiente para a manutenção do próprio sistema e evitar colmatção nos dutos de drenagem, porém, não deve ultrapassar 0,30m (SILVA, 2016).

A autora supracitada observa ainda que pode haver necessidade de os drenos serem recobertos com material capaz de drenar os líquidos e reter as partículas finas.

O dimensionamento do sistema de drenagem depende da geometria da massa de lixo e da vazão a ser drenada. Os drenos podem ser escavados diretamente no solo e preenchidos com material drenante ou podem ser dispostos sobre a camada de base 23 impermeabilizada do aterro. Eles são comumente acoplados ao sistema de drenagem dos gases (SILVA, 2016). A figura 24 mostra esquema de aterro sanitário dividido em várias etapas construtivas, em que no setor de preparação é possível identificar a drenagem de chorume através do sistema de drenos horizontais dispostos em “espinha de peixe”.

Figura 24 - Drenos horizontais dispostos em “espinha de peixe” na construção de aterro sanitário



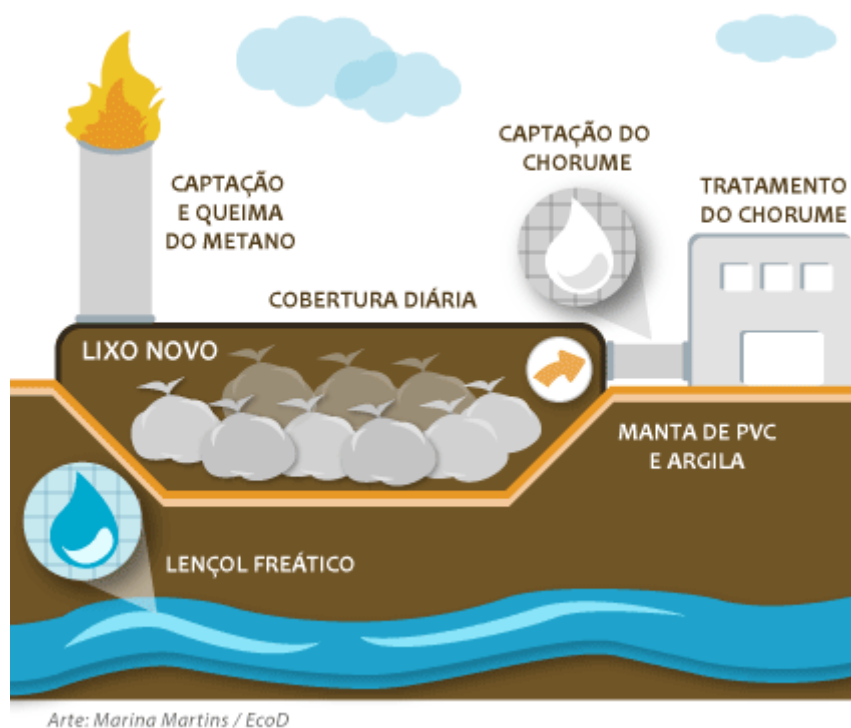
Fonte: COENCO, 2016

5.3 Sistema de drenagem dos gases

“O gás de aterro é composto por vários gases, alguns presentes em grandes quantidades como o metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços. Os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos. A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro” (MMA, 2010).

Alguns autores e entidades, tais como a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais, defendem que estes gases gerados devem ser queimados imediatamente após o início de sua produção, de forma a evitar que a sua dispersão pelo aterro contamine a atmosfera e cause danos à saúde. (FEAM, 2006). A figura 25 exemplifica um esquema simplificado de captação e queima do metano gerado em aterro sanitário.

Figura 25 – Captação e queima do metano gerado em aterro sanitário



Fonte: Instituto EcoD (2010)

Para implementação do sistema, segundo indicação da MaccaFerri (2008), pode-se fazer uso de geodrenos ou geocompostos drenantes para a drenagem do gás e geomembrana para impermeabilização e estanqueidade do sistema de coleta. Os gases devem ser coletados por um sistema de drenagem eficaz podem ser queimados em tochas que transformam o gás metano em CO₂, 14 vezes menos contaminante.

Autores como Faria (2010), Figueiredo (2007), entre outros, defendem a criação de um sistema de captação do gás gerado por aterros sanitários de forma a aproveitar o potencial energético deste fluido. Ambos autores também citam a utilização de geossintéticos como método viável para instalação deste sistema.

Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2010), o MMA está uma parceria com Ministério de Minas e Energia (MME) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para estudo da viabilidade do desenvolvimento de um projeto de incentivo à produção da energia elétrica do biogás de aterro sanitário, através da criação de um mercado assegurado com valores de venda da energia produzida, visando viabilidade econômica na comercialização do biogás.

Independente do uso final do biogás produzido no aterro, deve-se projetar um sistema padrão de coleta tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento, incluindo a desumidificação do gás, compressor e *flare* (SILVA, 2016).

A autora supracitada cita ainda que os drenos verticais vão desde a camada impermeabilizada da base até acima do nível de cobertura do aterro, e que os gases mais leves que o ar (metano) sobem para a superfície enquanto que os mais pesados se dirigem para o fundo do aterro, sendo coletados pelo sistema de drenagem de lixiviados

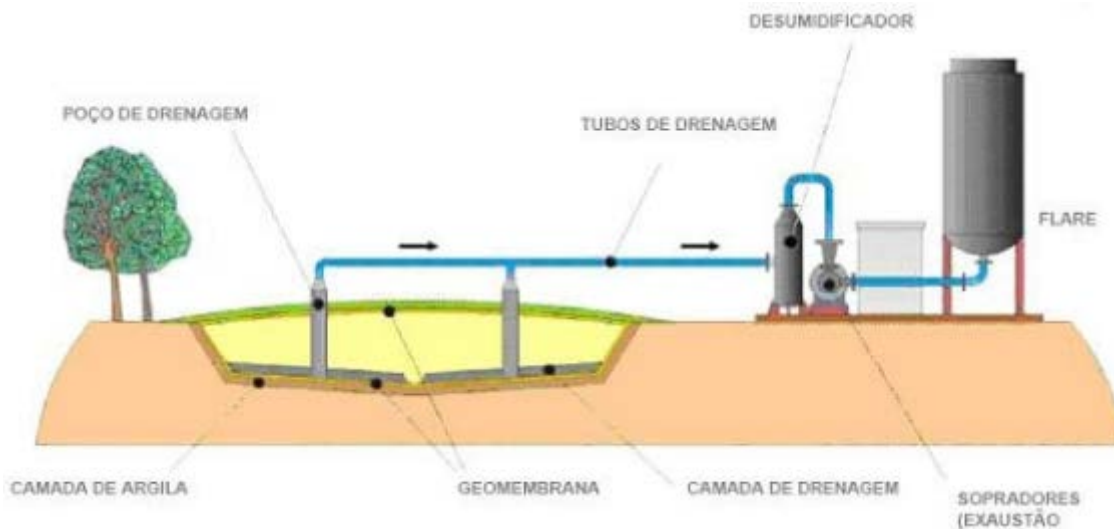
A camada coletora de gás deve ser implantada abaixo da camada de barreira e sobre a camada de resíduo. Os materiais mais utilizados são os materiais granulares em geral, solos e geossintéticos de alta permeabilidade, ou seja, os materiais similares aos da camada de drenagem. Caso se utilize solo para construir esta camada, a espessura mínima deve ser de 30 cm. Os geossintéticos mais utilizados são os geotêxteis, georedes ou geocompostos para drenagem (Koerner & Daniel, 1997).

O dimensionamento desses drenos depende da vazão de biogás drenada. Não há modelos de cálculo comprovados que estabeleçam esta vazão, logo esses drenos são constituídos de maneira empírica prevalecendo o bom senso do projetista (CEMPRE, 2010).

A coleta de gás normalmente começa após uma porção do aterro ser fechada. Cada uma das pontas do tubo é conectada a uma tubulação lateral que transporta o gás para um coletor principal. O sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás se necessário (MUYLAERT, 2000).

Depois de coletado, segundo Figueiredo (2007), o sistema vai para um sistema de compressão, seguindo para sistema de tratamento condensado e por fim para a queima e tratamento do biogás, a partir de onde será convertido em energia elétrica. A figura 26 ilustra um esquema técnico do sistema de captação e queima do biogás.

Figura 26 – Estrutura técnica do sistema de captação e queima do biogás



Fonte: Figueiredo, 2010

5.4 Camada de cobertura

A camada de cobertura tem a finalidade de proteger a superfície das células de lixo, evitando a proliferação de odores, permitindo o acesso de máquinas e veículos coletores e evitando a presença de catadores. Segundo Silva (2011), no caso de aterro de resíduos sólidos urbanos existem camadas de cobertura durante a vida útil do aterro sanitário (coberturas diária e intermediária) e após encerramento das atividades do aterro (camada final).

De acordo com CEMPRE (2010), ao final da jornada diária, a cobertura dos resíduos tem grande importância ao se evitar espalhamento de materiais leves e evitar presença de vetores propagadores de doenças, como roedores ou insetos. A camada diária consiste na utilização de solo ou outro material geossintético, por exemplo, para cobertura dos resíduos no final de cada jornada de trabalho. O mesmo raciocínio serve para a camada intermediária, que ocorre, segundo Silva (2011), no encerramento de cada célula do aterro.

O sistema de cobertura final deve ser resistente à erosão, às intempéries de forma a evitar a infiltração de águas de chuva, e deve-se adequar à futura utilização da área. Segundo Zornberg (2013), a implementação de camada de vegetação do local é altamente indicada, pois favorece a evapotranspiração diminuindo o potencial de água infiltrado no aterro, além de contribuir na prevenção de erosão e deslizamento do solo.

A IGS (2008) recomenda implementação de reforço de geogrelha ou geotêxtil geotêxtil acima da barreira para aumentar a estabilidade da cobertura vegetal (camada de solo de cobertura para plantio).

De acordo com a Geofoco (2014), na execução da impermeabilização de aterro sanitário devem ser atentadas as seguintes etapas:

- a) Preparação do solo: o solo precisa estar livre de materiais granulares, como pedriscos, raízes de árvores, dentre outros, que possam perfurar a Geomembrana através de punção. Em casos onde for encontrado veio rochoso durante a escavação do terreno deverá ser previsto uma manta geotêxtil de alta gramatura sob a Geomembrana para proteção mecânica;
- b) Valeta de ancoragem: deverá ser aberta, no contorno da área a ser impermeabilizada, uma valeta com afastamento mínimo de 50 cm do topo do talude com profundidade mínima definida conforme projeto para ancoragem da Geomembrana e, posteriormente, preenchida com solo local.
- c) Paginação da Geomembrana: deve ser feita de forma a otimizar a obra técnica e economicamente, bem como moldar os cantos, de forma a proporcionar uma melhor qualidade de solda.
- d) Folga técnica: na instalação da manta, recomenda-se deixar folgas, a fim de evitar danos provocados pela dilatação e contração, causados pela intempérie e, principalmente, nos casos onde o aterro sanitário for projetado com seções mistas de corte e aterro, evitando deformações que, por ventura, possam ocorrer pela acomodação do solo ao ser submetido à carga do depósito de material.
- e) Acabamento final: no acabamento de tubulações de drenagem e coleta de líquidos deverão ser feitos acabamentos de alto nível técnico, bem como utilizar abraçadeiras de aço inox, para evitar a corrosão das mesmas.

5.5 Sistema de drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de proteger o corpo do aterro da infiltração da água de chuva e evitar a ocorrência de erosão da camada de cobertura. A drenagem ineficiente das águas de chuva pode provocar maior infiltração no maciço do aterro, aumentando o volume de chorume gerado e contribuindo para a instabilidade do maciço (FEAM, 2006).

Segundo Boscov (2008), os gabiões tipo caixa e os colchões Reno são alguns dos dispositivos utilizados na execução de sistemas de drenagens de águas pluviais em aterros sanitários. O autor define os gabiões tipo caixa como elementos com a forma de prisma retangular formados por uma rede metálica de malha hexagonal. Já os colchões Reno são gabiões de menor

espessura (até 30 cm) em relação ao comprimento e à largura. A rede metálica deste sistema apresenta malhas de menor abertura em relação aos gabiões tipo caixa.

O uso de geotêxtil nestes sistemas de drenagens pode acarretar em uma série de vantagens na coleta, afastamento e disposição do líquido percolado. Segundo Alves (1998), é necessário preparar o terreno através da realização de terraplenagem e limpeza para o recebimento das geomembranas PEAD, material impermeável que impede que o chorume venha a contaminar o lençol freático.

A instalação de geotêxtil como proteção mecânica da geomembrana é altamente recomendável, segundo Alves (1998), uma vez que a geomembrana não pode ficar em contato direto com o gabião devido ao risco de danos no material.

6 NORMAS VIGENTES

A prioridade para projetos feitos no Brasil deve ser do uso de normas regulamentadoras brasileiras, porém, na inexistência destas, deve-se recorrer à norma internacional que melhor se adequa às características socioeconômicas e climáticas do nosso país. Algumas das principais referentes ao estudo de geossintéticos e aterros sanitários são:

- a) ABNT NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- b) ABNT NBR 8418 – Resíduos industriais perigosos;
- c) ABNT NBR 15352 – Mantas termoplásticas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de polietileno linear (PEBDL) para impermeabilização;
- d) ABNT NBR – 10004:2004 - Resíduos sólidos;
- e) ABNT NBR 10.157 – Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação;
- f) ABNT NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento;
- g) ASTM D 792 – Specific Gravity (Relative Density) and Density of Plastics by Displacement;
- h) ASTM D 1004 – Test Method for Initial Tear Resistance of Plastics Film and Sheeting;
- i) ASTM D5322-98 - Standard Practice for Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids;
- j) ASTM D5747-95a(2002) - Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geomembranes to Liquids;
- k) ASTM D 1238 – Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer;
- l) ASTM D 1505-98e1 – Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique;
- m) ASTM D 1603-94 – Test Method for Carbon Black in Olefin Plastics;
- n) ASTM D 3895-98 – Test Method for oxidative Induction Time of Polyolefins by Thermal Analysis;
- o) ASTM D 2418 – Test Method for Determination of Carbon Black Content in Polyethylene Compounds by the Muffle-Furnace Technique;

- p) ASTM D 4833 – Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes and Related Products;
- q) ASTM D 5199 – Test Method for Measuring Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes;
- r) ASTM D 5397-99 – Test Method for Evaluation of Stress Crack Resistance of Polyolefin Geomembranes Using Notched Constant Tensile Load Test;
- s) ASTM D 5596-94 – Test Method for Microscopic Evaluation of the Dispersion of Carbon Black in Polyolefin Geosynthetics;
- t) ASTM D 5721-95 – Practice for Air-Oven Aging of Polyolefin Geomembranes;
- u) ASTM D 5885-97 – Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High Pressure Differential Scanning Calorimetry;
- v) ASTM D 6693 – Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes.

A IGS Brasil tem se reunido ao longo deste ano para elaboração de textos-base para produção de novas normas brasileiras relacionadas a geossintéticos, com encontros programados em 21 de junho; 16 de agosto; 20 de setembro; 18 de outubro e 22 de novembro de 2016 em São Paulo.

7 LEGISLAÇÃO

A Lei 12.305/2010 prevê que todas as cidades devem substituir os lixões por aterros sanitários regulamentados. Estes devem contar com preparo no solo para evitar a contaminação do lençol freático, coleta do chorume que resulta da degradação do lixo e com a queima do gás metano para gerar energia elétrica. A legislação menciona também que somente os rejeitos devem ser destinados aos aterros. Todo o material reciclável e orgânico deve ter outra destinação, adequada às suas características.

Conforme a legislação contida na Política Nacional de Resíduos Sólidos, criada em 2010, foi estipulado um prazo de quatro anos para adequação dos municípios brasileiros, cuja data foi encerrada em 2 de agosto de 2014.

Há no entanto, um projeto de lei sugerindo o adiamento deste prazo de adequação dos municípios à lei. O PL nº 2.289, de 2015 dá nova redação aos arts. 54 e 55 da Lei nº 12.305, de 2010. Os novos prazos estipulados, se aprovado no congresso o PL, serão:

a) as capitais de Estados e os Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) terão até 31 de julho de 2018 para cumprir a obrigação;

b) os Municípios com população superior a 100 mil habitantes no Censo de 2010 e Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 quilômetros da fronteira com outros países limítrofes terão até 31 de julho de 2019 para cumprir a obrigação;

c) os Municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes no Censo de 2010 terão até 31 de julho de 2020 para cumprir a obrigação;

d) os Municípios com população inferior a 50 mil habitantes terão até 31 de julho de 2021 para cumprir a obrigação.

Segundo a Associação Nacional de Órgãos Municipais do Meio Ambiente, até o final do prazo estipulado atualmente pela Lei, apenas 10% dos quase 3 mil municípios com lixões haviam conseguido solucionar o problema do descarte correto dos resíduos.

A tabela 9 traz um resumo de algumas das principais leis relativas ao meio ambiente e à disposição de resíduos sólidos no Brasil.

Tabela 9 - Legislação e normas incidentes

Legislação Interveniente	Descrição
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.
Constituição Federal de 05 de outubro de 1988.	A CF/88 destinou capítulo específico para a defesa do meio ambiente (Capítulo VI do Título VIII), estipulando o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado a todos (presentes e futuras gerações), e impondo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e as futuras gerações.
Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro 2007.	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente.
Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o EIA Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.
Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.
NBR 10.004/2004 (ABNT).	Esta Norma estabelece os critérios de classificação e os códigos para a identificação dos resíduos de acordo com suas características
NBR 10.005/ NBR 10.006/ NBR 10.007/2004 (ABNT).	Coletânea de normas de Resíduos Sólidos
Resolução SMA nº 1, de 02 de janeiro de 1990.	Determina a necessidade de apresentação de EIA/RIMA para os empreendimentos em andamento ou ainda não iniciados, mesmo que licenciados, mediante fundamentação técnica da SMA.
Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002	Dá nova redação ao Título V - Das Licenças e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8/09/1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

NBR 11.174/1990.	Armazenamento de resíduos classes II (não inertes) e III (inertes) – Procedimento.
NBR 8.419/1992.	Apresentação de projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos urbanos.
NBR 8849/1985.	Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.
NBR 13.221/1994.	Transporte de resíduos- Procedimento.
NBR 13.896/1.997.	Aterro de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação.
NBR 15.495-1/2007.	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção
NBR 15495-2/2008.	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento.
Resolução SMA nº 51/1997.	Dispõe sobre a exigência ou dispensa do RAP para aterros e usinas de reciclagem e compostagem.
NBR 7500/2007.	Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.

Fonte: Adaptado de Sousa, Jesus & Cabral, 2010

8 ORIENTAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Um aterro sanitário incorpora basicamente quatro fases distintas, de acordo com a Maccaferri (2009). São estas:

- a) Planejamento;
- b) Construção;
- c) Operação;
- d) Encerramento/integração com o meio ambiente.

Na etapa de planejamento, deve ser feita toda a concepção, estudos preliminares e de viabilidade, classificação do terreno e materiais envolvidos, e definição das soluções a serem implantadas no sistema de aterro sanitário, conforme orienta o Ministério das Cidades (2008).

Durante a construção, deve ser atendida a correta instalação dos geossintéticos de acordo com as recomendações de cada fabricante, a compactação do solo e devem ser seguidas as diretrizes do projeto a ser implementado.

A operação dos aterros sanitários é de fundamental importância para maximização da eficiência do aterro. Segundo a CONDER (2009), a operação incorreta do aterro sanitário pode lhe conferir características indesejáveis como a de um lixão, trazendo sérios riscos à saúde da população e ao meio ambiente.

A companhia cita ainda a importância da manutenção dos sistemas de drenagem em pleno funcionamento, de modo que o projeto inicial do aterro atinja os objetivos propostos.

Por fim, para encerramento do aterro, deve-se buscar uma recuperação paisagística da área do aterro através de análise química e análise de solo para estudo das espécies adequadas com finalidade de revegetação (SOUZA, 2007).

O autor supracitado indica que deve-se objetivar o equilíbrio ambiental com a recuperação da área degradada, de forma a minimizar os impactos provenientes da implantação deste sistema.

A seguir, algumas diretrizes serão comentadas para uma correta implantação de aterro sanitário.

8.1 Escolha da Área e Geometria

Em geral, para a implantação do aterro sanitário, opta-se por áreas que a própria prefeitura já dispõe cuja aptidão deseja avaliar. Com o objetivo adicional de revitalizar áreas degradadas, em geral opta-se por áreas como pedreiras desativadas, cavas de mineração ou cortes de rodovias abandonados (BOSCOV, 2008).

Cempre (2010) cita a importância de realização de um estudo prévio de viabilidade, visto que esta etapa é crucial na construção de qualquer empreendimento. O estudo de viabilidade envolve aspectos sociais, custos e impactos ambientais. Em resumo, três etapas básicas são necessárias para a análise da área escolhida: levantamento de dados, pré-seleção de áreas e estudo de viabilidade.

Quanto à geometria do aterro, a Maccaferri (2009) cita a possibilidade de três maneiras de execução, sendo estas: escavado abaixo do nível do terreno (vala), acima do terreno, ou mistos com escavação e deposição acima do terreno. A profundidade ou elevação dos aterros de resíduos obedecem principalmente ao limite de volume de resíduo gerado de acordo com o crescimento populacional e a estabilidade geotécnica da obra.

8.2 Licença Ambiental

Após escolhida a área onde vai ser implementado o aterro, o procedimento seguinte é o licenciamento ambiental do aterro sanitário. A Resolução CONAMA nº404 de 2008 estabelece critérios para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

Para outros tipos de aterro sanitário localizados no estado da Paraíba, a SUDEMA-PB disponibiliza em seu endereço eletrônico uma lista de todos os documentos necessários para dar entrada nas licenças prévia, de instalação e de operação.

8.3 Dimensionamento e Seleção de Geossintéticos

Ainda na etapa de planejamento, o dimensionamento e seleção de geossintéticos devem ser feitos de modo a minimizar os impactos ambientais provenientes da instalação de um aterro sanitário. A seleção dos mesmos deve visar os aspectos já citados anteriormente neste estudo,

levando em conta as propriedades e finalidades de cada um: seja de drenagem, filtração, impermeabilização, proteção, encapsulamento, ou até mesmo o desenvolvimento de condições ideais para propiciar a revegetação de camada final do aterro.

Em seguida, selecionado o material para cada função, deve-se prosseguir ao correto dimensionamento do mesmo. Há normas internacionais que citam critérios específicos de ensaios para determinação a resistência física e química dos materiais (ASTM D5322; ASTM D5496; ASTM D5747), que deve ser feito antes de qualquer dimensionamento para comparar se as exigências do projeto serão atendidas.

Há manuais com instruções de dimensionamento dos geossintéticos disponibilizados diretamente de fabricantes - como Maccaferri ou Engepol, por exemplo, de modo que o projetista selecione do catálogo o que melhor se adequa à situação desejada.

8.4 Instalação dos Geossintéticos

Para instalação de geossintéticos como geogrelha, geomanta e geomembrana, a Maccaferri (2009) indica que o local onde vai ser instalado o material deve ser preparado através da remoção de quaisquer obstáculos que possam obstruir o desenrolar da bobina ou danificar a superfície do material, ocasionando rasgos. Irregularidades muito pronunciadas devem ser preenchidas com o próprio solo local, de forma que a superfície do geossintético a ser instalado fique em contato direto com o terreno, sem espaços vazios.

A fabricante recomenda ainda o cobrimento dos materiais geossintéticos, de forma que nunca fiquem expostos diretamente às intempéries. Para geomembranas utilizadas nas superfícies dos taludes, recomenda-se o uso de solo ou cobertura vegetal para essa proteção.

Os geotubos de PEAD utilizados na drenagem de aterros sanitários podem suportar uma carga resultante da deposição do lixo até uma altura de aproximadamente 23m, de acordo com a Engepol (2012), sofrendo pouca variação de sua capacidade drenante. Para alturas de lixo maiores, a fabricante recomenda o uso de uma camada drenante de brita sobre o geocomposto, para atender a drenagem necessária.

8.5 Manutenção do Aterro Sanitário

O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - PGIRSU é um documento que aponta e descreve as ações relativas ao tratamento a ser dado aos resíduos sólidos urbanos,

contemplando a geração, segregação, acondicionamento, coleta (convencional e/ou seletiva), transporte, tratamento e disposição final e proteção à saúde pública (FEAM, 2006).

De acordo com este documento, os resíduos sólidos a serem destinados a um aterro sanitário devem ser os caracterizados como rejeito, quando todas as possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem já tiverem sido esgotadas e não houver solução final para o item ou parte dele.

A FEAM (2006) aconselha que na frente de operação, os resíduos devem ser espalhados e compactados por um equipamento apropriado em rampas com inclinação aproximada de 1 na vertical para 3 na horizontal (1:3). O equipamento de compactação deve estar permanentemente à disposição na frente de operação do aterro sanitário, e ao final de cada jornada de trabalho, os resíduos compactados devem receber uma camada de terra, espalhada em movimentos de baixo para cima.

A Fundação aponta que este recobrimento deve ser feito com uma camada de terra ou material inerte com espessura de 15 a 20cm, com o objetivo de impedir o arraste de materiais pela ação do vento e evitar a disseminação de odores desagradáveis e a proliferação de vetores como moscas, ratos, baratas e aves.

Os efluentes gerados no aterro sanitário podem, também, ser encaminhados para uma Estação de Tratamento de Esgotos - ETE, devidamente licenciada, conforme acordo firmado entre os empreendedores do aterro e da ETE. Desse modo, o percolado do aterro será encaminhado para um tanque de armazenamento localizado a jusante do maciço de resíduos, sendo bombeado para caminhões-tanque com sistema de sucção e, em seguida, transportados para a ETE (FEAM, 2006).

8.6 Encerramento e Integração com o Meio Ambiente

Uma vez esgotada a capacidade do aterro procede-se a cobertura final com 60 cm de espessura (sobre as superfícies que ficarão expostas permanentemente - bermas e taludes definitivos). Após o recobrimento, deve-se plantar a grama nos taludes definitivos e platôs, que servirá como proteção contra a erosão. Recomenda-se o lançamento de uma camada de cascalho sobre as bermas, as quais serão submetidas ao tráfego operacional (CONDER, 2009).

Uma solução alternativa à cobertura final de solo no aterro é o uso da biomanta, que além de evitar o processo erosivo da camada final do aterro, também contribui para a vegetação da superfície, auxiliando na integração do Aterro com o meio ambiente (GEOFOCO, 2012).

A NBR 13896/1997 da ABNT exige que mesmo depois o encerramento do aterro sanitário, é necessário que o monitoramento continue por no mínimo mais 20 anos, pois mesmo depois de desativados, os aterros sanitários continuam gerando gases e líquido percolado.

O monitoramento mencionado na Norma corresponde ao acompanhamento e controle ambiental do empreendimento através de instrumentos como poços de monitoramento de águas subterrâneas, medidores de vazão, piezômetros e medidores de recalque horizontais e verticais.

9 CONCLUSÃO

Através do presente estudo foi possível constatar que o uso de geossintéticos em aterros sanitários apresenta uma série de vantagens em sua aplicação. As principais delas estão relacionadas a economia, prática de execução e à sua grande versatilidade de uso - uma vez que possui características drenantes, impermeabilizantes, de separação, filtração, contenção, proteção, entre outras.

Para um uso racional destes materiais e otimização de sua implementação em aterros sanitários, deve-se buscar aproveitar ao máximo suas características, selecionando o tipo de geossintético mais adequado para cada tipo de uso, bem como aliar este material a outros de forma a aproveitar melhor suas vantagens e compensar suas imperfeições.

A vasta possibilidade de diferentes empregos dos geossintéticos e o desenvolvimento constante por parte dos fabricantes de novas tecnologias e materiais deste tipo torna os geossintéticos uma alternativa extremamente convidativa como solução dos diversos problemas enfrentados na Engenharia.

Apesar disso, por se tratar de um material pouco explorado em termos executivos em nosso país quando em comparação com o resto do mundo, há escassez de informação e desenvolvimento de normas e legislações referentes a estes elementos, o que muitas vezes obriga o projetista a recorrer a normas internacionais que podem não ser as mais adequadas à realidade de nosso país.

Falta atitude política relacionada a investimentos em pesquisas voltadas a meios de viabilizar a construção de aterros sanitários em escala nacional, bem como leis mais rigorosas que forcem os governantes locais a colocar em prática as exigências do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

Ainda que os geossintéticos se apresentem como solução mais viável em determinadas situações, é necessário ainda um estudo prévio de viabilidade econômica, de estabilidade e bom funcionamento do sistema a ser implementado, de forma a assegurar o emprego do material mais adequado e avaliar as demais opções.

10 REFERÊNCIAS

ALVES, S. L. **Aplicação do Geotêxtil Bidim Para Proteção de Geomembrana em Aterro Sanitário**. São Paulo, Brasil. Publicação do Departamento Técnico – Atividade Bidim. Departamento Técnico Mexichem Bidim Ltda., 1998.

ARAÚJO, O. **O que é Aterro Sanitário?** Disponível em: <<http://www.prac.com.br/site/pt-BR/literaturas/pesquisa/o-que-e-aterro-sanitario.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2016;

Associação Brasileira de Geossintéticos – Portal IGS Brasil. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/>>. Acesso em: 30 de maio de 2016;

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; NÓBREGA, C. C.; GADELHA, C. L. M.; SOUZA, I. M. F.; FAGUNDES, G. S. **Efeito do Antigo Lixão do Róger. João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local**. *Ami-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 142-155 2009;

BATHURST, R.J. **Funções e Classificações do Geossintéticos**. IGS (International Geosynthetic Society). Disponível em: <<http://www.geosyntheticssociety.org/Resources.aspx>>. Acesso em: 27 de maio de 2016;

BIDIM – Casos de Obra. Disponível em: <<http://www.bidim.com.br/casosdeobra/-utilizacao-de-geoweb-e-geotextil-bidim-em-revestimento-de-descidas-d-aguas-em-aterro-sanitario-estrem-ambiental-s-a-paulinia-sp/>>. Acesso em: 31 de maio de 2016.

Câmara dos deputados. **PL 2289/2015**. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555331>>. Acesso em: 10 de abril de 2016;

COENCO. **Aterro Sanitário**. Disponível em: <http://www.coencoconstrucoes.com.br/pt_BR/servicos-aterro>. Acesso em: 10 de abril de 2016;

COSTA, C. M. L. **Fluência de Geotêxteis**. São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1999;

FARIA, M. **Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético.** São Paulo, Brasil. Monografia de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia). Universidade de São Paulo, 2010.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso.** São Paulo, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, 2007;

Ministério das Cidades. **Resíduos Sólidos: Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 2008;

Geofoco. **Transformação de Lixão em Aterro Sanitário Usando Geossintéticos.** Disponível em: <<http://geofoco.com.br/blog/fique-por-dentro/transformacao-de-lixao-em-aterro-sanitario-usando-geossinteticos>>. Acesso em: 05 de abril de 2016;

GOMES, L. M. F. **Geotêxteis e suas aplicações.** Covilhã, Portugal, 2001. Artigo científico apresentado em seminário – Universidade da Beira Interior;

Inovageo. **Geocomposto Drenante.** Disponível em: <<http://inovageo.eng.br/produtos/geocomposto-drenante/>>. Acesso em: 03 de junho de 2016;

MACAFFERRI. **Manual Técnico: Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos.** São Paulo, Brasil. 2008;

MARANGON, M. **Estabilidade de Taludes – Notas de aula do professor.** Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2016;

MPZ Aplicações Tecnológicas Ltda. **Geocomposto de Bentonita.** Disponível em: <<http://www.mpz.com.br/bentonita.html>>. Acesso em: 01 de junho de 2016;

PARANHOS H. **Geossintéticos**. Brasília, Brasil. Notas de Aula de Geotecnia Ambiental – Universidade Católica de Brasília, 2013;

SILVA, K. T. **Projeto de um Aterro Sanitário de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro, 2016. Projeto de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro;

SILVA, L. **Aterros Sanitários são a melhor forma de destinação do lixo urbano**. Disponível em: <<http://www.cpt.com.br/cursos-meioambiente/artigos/aterros-sanitarios-sao-a-melhor-forma-de-destinacao-do-lixo-urbano>>. Acesso em: 16 de maio de 2016;

SILVA, N. L. S. **Aterro Sanitário para resíduos sólidos urbanos - RSU – Matriz para Seleção da Área de Implantação**. Feira de Santana, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana;

SUZUKI, D. K. **Verticalização de aterros sanitários por meio de reforço com geogrelhas e diques periféricos alteados pelo método de montange**. São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

VERTEMATTI, J. C., **Curso Básico de Geotêxteis**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2001;

VERTEMATTI, J. C., **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2004;

WELL, L. W., **Testing and acceptance criteria for Geosynthetic Clay Liners**. ASTM. Philadelphia, Estados Unidos, 1999.